



# 中华人民共和国国家计量技术规范

JJF XXXX-XXXX

## 医用准分子激光源校准规范

Calibration Specification for Medical Excimer Laser Sources

(征求意见稿)

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

国家市场监督管理总局 发布

医用准分子激光源  
校准规范

Calibration Specification for  
Medical Excimer Laser Sources

JJF xxx—xxxx

归口单位：全国光学计量技术委员会

主要起草单位：上海市计量测试技术研究院

中国计量科学研究院

北京市计量检测科学研究院

参加起草单位：中国人民解放军军事科学院军事医学研究院

江苏省计量科学研究院

本规范委托全国光学计量技术委员会负责解释

**本规范主要起草人：**

夏 铭（上海市计量测试技术研究院）

邓玉强（中国计量科学研究院）

张建亮（北京市计量检测科学研究院）

**参加起草人：**

高建强（上海市计量测试技术研究院）

杨在富（中国人民解放军军事科学院军事医学研究院）

张卿贤（北京市计量检测科学研究院）

张 帆（江苏省计量科学研究院）

# 目 录

|                            |      |
|----------------------------|------|
| 引言                         | (II) |
| 1 范围                       | (1)  |
| 2 引用文件                     | (1)  |
| 3 术语                       | (1)  |
| 3.1 瞄准光束                   | (1)  |
| 3.2 瞄准激光器                  | (1)  |
| 3.3 紧急激光终止器                | (1)  |
| 3.4 激光发射控制开关               | (2)  |
| 3.5 激光发射指示(警示)器            | (2)  |
| 3.6 激光准备就绪指示器              | (2)  |
| 3.7 目标指示装置                 | (2)  |
| 3.8 工作光束                   | (2)  |
| 3.9 脉冲持续时间                 | (2)  |
| 4 概述                       | (2)  |
| 5 计量特性                     | (3)  |
| 5.1 输出能量(密度)               | (3)  |
| 5.2 脉冲持续时间                 | (3)  |
| 5.3 脉冲重复频率                 | (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 校准项目                   | (4)  |
| 7.2 校准方法                   | (4)  |
| 8 校准结果表达                   | (8)  |
| 9 复校时间间隔                   | (8)  |
| 附录 A 医用准分子激光源校准原始记录推荐格式    | (10) |
| 附录 B 医用准分子激光源校准证书内页推荐格式    | (11) |
| 附录 C 医用准分子激光源测量结果的不确定度评定示例 | (12) |

# 引 言

JJF 1001《通用计量术语及定义》、JJF 1032《光学辐射计量名词术语及定义》、JJF 1059.1《测量不确定度评定与表示》和 JJF 1071《国家计量校准规范编写规则》共同构成支撑本规范制定的基础性系列规范。

本规范为首次发布。

# 医用准分子激光源校准规范

## 1 范围

本规范适用于输出激光脉冲持续时间大于 1 ns 的医用准分子激光源的输出能量（密度）、脉冲持续时间和脉冲重复频率的校准。采用氯化氙等准分子气体光源的医用准分子光治疗机，其输出能量（密度）、脉冲持续时间和脉冲重复频率的校准可参照本规范执行。

## 2 引用文件

本规范引用了下列文件：

JJG 581 医用激光源

GB/T 7247.1—2024 激光产品的安全 第 1 部分：设备分类和要求

GB 9706.222—2022 医用电气设备 第 2-22 部分：外科、整形、治疗和诊断用激光设备的基本安全和基本性能专用要求

GB/T 15313—2008 激光术语

GB/T 41572—2022 脉冲激光时域主要参数测量方法

YY 0599—2024 激光治疗设备 准分子激光角膜屈光治疗机

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

### 3.1 瞄准光束 aiming beam

产生可见光点的光辐射光束，用来指示工作光束预定的作用点。

[来源：GB 9706.222—2022，201.3.202]

### 3.2 瞄准激光器 aiming laser

发射瞄准光束的激光器。

[来源：GB 9706.222—2022，201.3.203]

### 3.3 紧急激光终止器 emergency laser stop

在紧急情况下用于立即终止激光输出的手动或脚动装置。

[来源：GB 9706.222—2022，201.3.211]

3.4 激光发射控制开关 laser emission control switch

用于启动和停止工作光束发射的手动或脚动装置。

[来源：GB 9706.222—2022，201.3.214]

3.5 激光发射指示（警示）器 laser emission(warning) indicator

产生可见的和/或有声的信号，用来指示工作光束正在发射的装置。

[来源：GB 9706.222—2022，201.3.215，有修改]

3.6 激光准备就绪指示器 laser ready indicator

指示激光设备处于准备就绪状态的可见装置。

注：激光准备就绪指示器的目的，是使在激光区域内的在场人员意识到需要采取预防措施来避免意外的有害激光辐射。

[来源：GB 9706.222—2022，201.3.219]

3.7 目标指示装置 target indicating device

指示工作光束将进行外科、整形、治疗或诊断工作位置的瞄准装置。

[来源：GB 9706.222—2022，201.3.225]

3.8 工作光束 working beam

用于外科、整形、治疗或诊断目的的激光设备发射的非瞄准光束的激光辐射光束。

[来源：GB 9706.222—2022，201.3.227]

3.9 脉冲持续时间 pulse duration

脉冲宽度 pulse width

激光脉冲上升和下降到它的 50%峰值功率点之间的间隔时间。

[来源：GB/T 15313-2008，2.1.74]

## 4 概述

准分子激光器是以准分子为工作物质的一类气体激光器件。准分子激光是指当惰性气体和卤素气体结合的混合气体形成的分子，受到电子束或横向快速脉冲激发时，向其基态跃迁时发射所产生的激光。准分子激光具有波长短、重复频率高等特点，且属于冷激光，因而广泛应用于科研、医疗和工业领域。在医疗方面，准分子激光被广泛应用在角膜屈光矫正、动脉血管消融手术中，近年来在治疗白

癜风、银屑病等皮肤病方面应用逐渐增多。

医用准分子激光源（以下简称“准分子源”）通常由激光器、控制部分和输出部分组成。激光器部分的作用是产生激光，激光控制部分的主要作用是调节准分子源的输出能量（密度）、脉冲持续时间和脉冲重复频率等参数及准分子源的安全控制。准分子源输出部分的作用是使输出激光照射到指定位置，一般由导光系统（含光纤）组成。

## 5 计量特性

### 5.1 输出能量（密度）

工作光束能量（密度）最大允许误差：±20%；

工作光束能量不稳定性：不超过±5%；

工作光束能量复现性：不超过±10%。

### 5.2 脉冲持续时间

工作光束脉冲持续时间最大允许误差：±20%。

### 5.3 脉冲重复频率

工作光束重复频率最大允许误差：±20%。

注：以上指标不适用于合格性判别，仅供参考。

## 6 校准条件

### 6.1 环境条件

温度：18℃～25℃，相对湿度：20%～65%，校准区域应无影响测量结果的电磁干扰、振动和杂散辐射。

### 6.2 测量标准及其他设备

#### 6.2.1 激光功率/能量计

激光波长测量范围覆盖被校准分子源输出波长，频率响应满足被校准分子源校准需求；

激光功率测量范围：0.1 mW～100 mW；

激光能量测量范围：0.01 mJ～1.0 J；

修正因子的不确定度  $U_{rel}=5\%$  ( $k=2$ )。

注：激光功率/能量计可由一系列激光功率/能量计组成，某个激光功率/能量计可仅覆

盖部分波长范围和功率/能量范围。

### 6.2.2 光电探测器

光谱响应范围覆盖被校准分子源输出波长, 上升时间满足准分子源脉冲重复频率和脉冲持续时间校准需要(一般不大于被校准分子源脉冲持续时间的 1/20)。

### 6.2.3 数字存储示波器

满足准分子源脉冲重复频率和脉冲持续时间校准需要, 时间测量最大允许误差:  $\pm 1.0\%$ 。

### 6.2.4 激光光斑尺寸测量标准

#### 6.2.4.1 激光光束分析仪

波长测量范围覆盖被校准分子源输出波长;

光斑尺寸测量范围: (0.0~5.0) mm;

不确定度:  $U_{\text{rel}}=5\%$  ( $k=2$ )。

#### 6.2.4.2 显微镜

测量范围: (0~8) mm;

最大允许误差:  $\pm 0.01$  mm。

#### 6.2.4.3 游标卡尺

测量范围: (0~150) mm;

最大允许误差:  $\pm 0.02$  mm。

注: 根据工作光束形状和大小选择激光光束分析仪、高倍显微镜、游标卡尺, 一般光斑直径 1mm 以下, 建议采用激光光束分析仪。

### 6.2.5 辅助设备

电子秒表: 分辨力不低于 0.1 s; 最大允许误差  $\pm 0.10$  s/h。

## 7 校准项目和校准方法

### 7.1 校准项目

准分子源的校准项目为输出能量(密度)、脉冲持续时间、脉冲重复频率。

### 7.2 校准方法

#### 7.2.1 校准前检查

7.2.1.1 准分子源应有下列标识: 名称、型号规格、制造厂商、制造年月、出

厂编号以及明显的激光安全分类和警告标记，其中激光安全分类和警告标记应符合 GB/T 7247.1-2024 相关规定。需接地保护的准分子源还应有明显的接地标记。

7.2.1.2 准分子源应能正常启动，外观应整洁，文字、符号和标志清晰，无腐蚀、涂覆层剥落、明显划痕、破损及变形等机械损伤。各调节旋钮、按键、开关等均应正常工作，各插接件应紧密配合，接触良好。紧固件应连接牢固，功能开关及控制机构均应安装正确，调节可靠。

7.2.1.3 准分子源应配备能量（密度）显示装置，并能够正常工作。

7.2.1.4 准分子源应配备紧急激光终止器、激光发射控制开关、激光发射指示器、激光准备就绪指示器和目标指示装置等。按下紧急激光终止器开关后准分子源立即停止工作。准分子源工作时，激光发射指示器应能发出辐射警告（声或光）信号。

7.2.1.5 准分子源的导光系统应转动灵活，操作方便，能够照射到医治病患所要求的位置。

7.2.1.6 如准分子源具有瞄准激光器，其光斑位置应与工作光束光斑重合，瞄准光束光功率应不超过 5 mW，用于眼科治疗时应不超过 1 mW。

7.2.1.7 应配备满足安全防护要求的激光防护用品（激光防护眼镜、防护手套等，必要时还需配备防护服）。

## 7.2.2 输出能量（密度）

7.2.2.1 如准分子源显示值为激光能量，用激光能量计进行测量。调整工作光束和激光能量计，使工作光束垂直入射到激光能量计的探测器接收面中央。若工作光束输出能量可以调节，则在能量设置范围内等间隔（一般在设置范围的上、下限和中值三点处）选取校准点进行测量，校准点可根据校准需求适当调整。每个校准点至少重复测量 3 次取平均值，按式（1）计算示值相对误差  $\delta_Q$ ：

$$\delta_Q = \frac{\bar{Q}_{DUT} - \bar{Q}_s}{\bar{Q}_s} \times 100\% \quad (1)$$

式中：

$\bar{Q}_{DUT}$ ——被校准分子源输出能量示值，J；

$\bar{Q}_s$ ——激光能量计 3 次测量值的算术平均值，J。

7.2.2.2 如准分子源显示值为激光能量密度，按照 7.2.2.1 用激光能量计测量工作光束输出能量。用激光光束分析仪或显微镜、游标卡尺等适用仪器测量工作光束治疗面的光斑面积，用激光光束分析仪进行测量时，以  $1/e^2$  定义光斑尺寸。以激光能量计测量值的算术平均值除以光斑面积作为激光能量密度标准值。按式(2)计算示值相对误差  $\delta_H$ ：

$$\delta_H = \frac{\overline{H}_{\text{DUT}} - \overline{H}_s}{\overline{H}_s} \times 100\% \quad (2)$$

式中：

$\overline{H}_{\text{DUT}}$ ——被校准分子源输出能量密度示值， $\text{J}/\text{cm}^2$ ；

$\overline{H}_s$ ——能量密度标准值， $\text{J}/\text{cm}^2$ 。

#### 7.2.2.3 输出能量不稳定性

将准分子源工作光束输出能量调至额定工作状态，待激光器进入稳定工作状态后，在一定时间内（5 min 或以治疗过程中可能出现的最长时间），按相等的时间间隔至少测量 10 次输出能量，按式（3）求出能量不稳定性  $S_i$ 。

$$S_i = \pm \frac{Q_{\max} - Q_{\min}}{\frac{2}{n} \sum_{i=1}^n Q_i} \times 100\% \quad (3)$$

式中：

$Q_i$ ——第  $i$  次能量测量值， $\text{J}$ ；

$Q_{\max}$ —— $n$  次能量测量值的最大值， $\text{J}$ ；

$Q_{\min}$ —— $n$  次能量测量值的最小值， $\text{J}$ ；

$n$ ——测量次数。

#### 7.2.2.4 输出能量复现性

将准分子源工作光束输出能量调至额定工作状态，用激光能量计进行测量；断开准分子源电源，再接通电源并调至额定工作状态，用激光能量计进行测量。如此重复 5 次，得 5 次测量值，按照式(4)计算工作光束输出激光能量复现性  $R_p$ 。

$$R_p = \pm \frac{Q_{\max} - Q_{\min}}{\frac{2}{n} \sum_{i=1}^n Q_i} \times 100\% \quad (4)$$

式中：

$Q_i$ ——第  $i$  次能量测量值，J；

$Q_{\max}$ ——5 次能量测量值的最大值，J；

$Q_{\min}$ ——5 次能量测量值的最小值，J；

$n$ ——测量次数。

### 7.2.3 脉冲持续时间

选取满足准分子源脉冲持续时间校准需要的光电探测器和数字存储示波器，按照 GB/T 41572—2022 第 6.2.1 条测量脉冲持续时间。若脉冲持续时间可以调整，则在调整范围内等间隔（一般在调整范围的上、下限和中值三点处）选取校准点，校准点可根据校准需求适当调整。每个校准点重复测量 3 次取平均值，按式（5）计算示值相对误差  $\delta_\tau$ ：

$$\delta_\tau = \frac{\bar{\tau}_{\text{DUT}} - \bar{\tau}_s}{\bar{\tau}_s} \times 100\% \quad (5)$$

式中：

$\bar{\tau}_{\text{DUT}}$ ——被校准分子源脉冲持续时间示值，s；

$\bar{\tau}_s$ ——脉冲持续时间 3 次测量值的算术平均值，s。

### 7.2.4 脉冲重复频率

选取满足准分子源脉冲重复频率校准需要的光电探测器和数字存储示波器，按照 GB/T 41572—2022 第 6.3 条测量脉冲重复频率。若脉冲重复频率可以调整，则在调整范围内等间隔（一般在调整范围的上、下限和中值三点处）选取校准点，校准点可根据校准需求适当调整。每个校准点重复测量 3 次取平均值，按式（6）计算示值相对误差  $\delta_f$ ：

$$\delta_f = \frac{\bar{f}_{\text{DUT}} - \bar{f}_s}{\bar{f}_s} \times 100\% \quad (6)$$

式中：

$\bar{f}_{\text{DUT}}$ ——被校准分子源脉冲重复频率示值，Hz；

$\bar{f}_{\text{s}}$ ——脉冲重复频率 3 次测量值的算术平均值，Hz。

## 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：“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；
- 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应用有关时，应对被校样品的抽样程序进行说明；
- i) 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

建议医用准分子激光源的复校时间间隔一般不超过 1 年。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。更换重要部件、维修或对

仪器性能有怀疑时，应及时送校。

## 附录 A

## 医用准分子激光源校准原始记录推荐格式

A.1.1 外观及安全性功能检查：

A.1.2 瞄准光束光功率：

A.2 输出能量 输出能量密度：

| 示值 | 测量值 |  |  | 平均值 | 示值相对误差 | 不确定度 |
|----|-----|--|--|-----|--------|------|
|    |     |  |  |     |        |      |
|    |     |  |  |     |        |      |
|    |     |  |  |     |        |      |

A.3 输出能量不稳定性：

| 测量值 | 1 | 2 | 3   | 4 | 5 | 6      | 7 | 8 | 9 | 10 |
|-----|---|---|-----|---|---|--------|---|---|---|----|
|     |   |   |     |   |   |        |   |   |   |    |
| 最大值 |   |   | 最小值 |   |   | 能量不稳定性 |   |   |   |    |

A.4 输出能量复现性：

| 测量值 | 1 | 2 | 3   | 4 | 5 |       |
|-----|---|---|-----|---|---|-------|
|     |   |   |     |   |   |       |
| 最大值 |   |   | 最小值 |   |   | 能量复现性 |

A.5 脉冲持续时间：

| 示值 | 测量值 |  |  | 平均值 | 示值相对误差 | 不确定度 |
|----|-----|--|--|-----|--------|------|
|    |     |  |  |     |        |      |
|    |     |  |  |     |        |      |
|    |     |  |  |     |        |      |

A.6 重复频率：

| 示值 | 测量值 |  |  | 平均值 | 示值相对误差 | 不确定度 |
|----|-----|--|--|-----|--------|------|
|    |     |  |  |     |        |      |
|    |     |  |  |     |        |      |
|    |     |  |  |     |        |      |

## 附录 B

## 医用准分子激光源校准证书内页推荐格式

A.1 安全性功能检查：

A.2 输出能量（密度）：

| 示值 | 实际值 | 示值相对误差 | 不确定度 |
|----|-----|--------|------|
|    |     |        |      |
|    |     |        |      |
|    |     |        |      |

A.3 输出能量不稳定性：

A.4 输出能量复现性：

A.5 脉冲持续时间：

| 示值 | 实际值 | 示值相对误差 | 不确定度 |
|----|-----|--------|------|
|    |     |        |      |
|    |     |        |      |
|    |     |        |      |

A.6 重复频率：

| 示值 | 实际值 | 示值相对误差 | 不确定度 |
|----|-----|--------|------|
|    |     |        |      |
|    |     |        |      |
|    |     |        |      |

## 附录 C

## 医用准分子激光源测量结果的不确定度评定示例

## C.1 测量模型

C.1.1 激光能量示值相对误差  $\delta_Q$ ：

$$\delta_Q = \frac{\bar{Q}_{\text{DUT}} - \bar{Q}_s}{\bar{Q}_s} \times 100\%$$

C.1.2 激光脉冲持续时间示值相对误差  $\delta_\tau$ ：

$$\delta_\tau = \frac{\bar{\tau}_{\text{DUT}} - \bar{\tau}_s}{\bar{\tau}_s} \times 100\%$$

C.1.3 激光重复频率示值相对误差  $\delta_f$ ：

$$\delta_f = \frac{\bar{f}_{\text{DUT}} - \bar{f}_s}{\bar{f}_s} \times 100\%$$

C.2 激光能量示值相对误差  $\delta_Q$  的不确定度评定

医用准分子激光源激光能量示值相对误差  $\delta_Q$  测量结果的不确定度主要包括以下方面：

C.2.1 激光能量测量重复性所引入的标准不确定度分量  $u_1$ 。

对一台医用准分子激光源，对设置值 2.5 mJ 连续重复测量 10 次，得到测量列：2.41、2.35、2.42、2.36、2.38、2.36、2.41、2.39、2.35、2.36。单位为 mJ，采用 A 类评定方法。

$$\bar{E} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n E_i = 0.0269 \text{ mJ}$$

单次相对实验标准差为：

$$s = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (E_i - \bar{E})^2}{10-1}}}{\bar{E}} = 1.13\%$$

实际测量时，在重复性条件下连续测量 3 次，以 3 次测量算术平均值为测量

结果，则可得到：

$$u_1 = s / \sqrt{3} = 0.65\%$$

C.2.2 标准激光能量计上级量传所引入的标准不确定度分量 $u_2$ 。

标准激光能量计上级量传的不确定度为 $U_{\text{rel}}=5\%$  ( $k=2$ )，采用 B 类评定方法进行评定。

$$u_2 = \frac{a}{k} = \frac{5\%}{2} = 2.5\%$$

C.2.3 标准不确定度汇总表

输入量的标准不确定度汇总于表 C.1。

表 C.1 标准不确定度汇总表

| 标准不确定度 $u_i$ | 不确定度来源      | 标准不确定度值 |
|--------------|-------------|---------|
| $u_1$        | 激光能量测量重复性   | 0.65%   |
| $u_2$        | 标准激光能量计上级量传 | 2.5%    |

C.2.4 相对合成标准不确定度的计算

上述各标准不确定度分量彼此独立不相关，所以相对合成标准不确定度可按下列下式得到：

$$u(\delta_Q) = \sqrt{u_1^2 + u_2^2} = 2.58\%$$

C.2.5 扩展不确定度

取 $k=2$ ，则扩展不确定度为：

$$U(\delta_Q) = 2 \times u(\delta_Q) = 2 \times 2.58\% = 5.16\% \approx 6.0\%$$

C.3 激光脉冲持续时间示值相对误差 $\delta_\tau$ 的不确定度评定

医用准分子激光源激光脉冲持续时间示值相对误差 $\delta_\tau$ 测量结果的不确定度主要包括以下方面：

C.3.1 激光脉冲持续时间测量重复性所引入的标准不确定度分量 $u_1$ 。

对一台医用准分子激光源，在 7 ns 设置值附近连续重复测量 10 次，得到测量列：7.2、7.2、7.3、7.5、7.4、7.1、7.2、7.3、7.2、7.4，单位为 ns，采用 A 类

评定方法。

$$\bar{E} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n E_i = 7.28 \text{ ns}$$

单次相对实验标准差为：

$$s = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (E_i - \bar{E})^2}{n-1}}}{\bar{E}} = 1.69\%$$

实际测量时，在重复性条件下连续测量 3 次，以 3 次测量算术平均值为测量结果，则可得到：

$$u_1 = s / \sqrt{3} = 0.97\%$$

C.3.2 数字存储示波器测量准确度所引入的标准不确定度分量  $u_2$ 。

数字存储示波器时间测量最大允许误差为  $\pm 1.0\%$ ，按照均匀分布，采用 B 类评定方法进行评定。

$$u_2 = \frac{a}{k} = \frac{1.0\%}{\sqrt{3}} = 0.58\%$$

C.3.3 光电探测器响应时间引入的标准不确定度  $u_3$ 。

光电探测器响应时间为 0.3ns，测量结果为 7.28 ns 时， $a_3=4.12\%$ ，按照均匀分布，采用 B 类评定方法进行评定。

$$u_3 = \frac{a}{k} = \frac{4.12\%}{\sqrt{3}} = 2.38\%$$

C.3.4 标准不确定度汇总表

输入量的标准不确定度汇总于表 C.2。

表 C.2 标准不确定度汇总表

| 标准不确定度 $u_i$ | 不确定度来源        | 标准不确定度值 |
|--------------|---------------|---------|
| $u_1$        | 激光脉冲持续时间测量重复性 | 0.97%   |
| $u_2$        | 数字存储示波器测量准确度  | 0.58%   |
| $u_3$        | 光电探测器响应时间     | 2.38%   |

### C.3.5 相对合成标准不确定度的计算

上述各标准不确定度分量彼此独立不相关,所以相对合成标准不确定度可按下列式得到:

$$u(\delta_r) = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2} = 2.64\%$$

### C.3.6 扩展不确定度

取  $k=2$ , 则扩展不确定度为:

$$U(\delta_r) = 2 \times u(\delta_r) = 2 \times 2.64\% = 5.28\% \approx 6.0\%$$

## C.4 激光重复频率示值相对误差 $\delta_f$ 的不确定度评定

医用准分子激光源激光重复频率示值相对误差  $\delta_f$  测量结果的不确定度主要包括以下方面:

### C.4.1 激光重复频率测量重复性所引入的标准不确定度分量 $u_1$ 。

对一台医用准分子激光源,在 500 Hz 设置值附近连续重复测量 10 次,得到测量列: 497.13、497.25、496.56、498.11、497.35、497.26、497.85、496.64、497.58、498.24, 单位为 Hz, 采用 A 类评定方法。

$$\bar{E} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n E_i = 0.882 \text{ Hz}$$

单次相对实验标准差为:

$$s = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (E_i - \bar{E})^2}{n-1}}}{\bar{E}} = 0.177\%$$

实际测量时,在重复性条件下连续测量 3 次,以 3 次测量算术平均值为测量结果,则可得到:

$$u_1 = s / \sqrt{3} = 0.102\%$$

### C.4.2 数字存储示波器测量准确度所引入的标准不确定度分量 $u_2$ 。

数字存储示波器时间测量最大允许误差为  $\pm 1.0\%$ , 按照均匀分布,采用 B 类评定方法进行评定。

$$u_2 = \frac{a}{k} = \frac{1.0\%}{\sqrt{3}} = 0.58\%$$

#### C.4.3 标准不确定度汇总表

输入量的标准不确定度汇总于表 C.3。

表 C.3 标准不确定度汇总表

| 标准不确定度 $u_i$ | 不确定度来源        | 标准不确定度值 |
|--------------|---------------|---------|
| $u_1$        | 激光脉冲持续时间测量重复性 | 0.102%  |
| $u_2$        | 数字存储示波器测量准确度  | 0.58%   |

#### C.4.4 相对合成标准不确定度的计算

上述各标准不确定度分量彼此独立不相关，所以相对合成标准不确定度可按下列式得到：

$$u(\delta_f) = \sqrt{u_1^2 + u_2^2} = 0.59\%$$

#### C.4.5 扩展不确定度

取  $k=2$ ，则扩展不确定度为：

$$U(\delta_f) = 2 \times u(\delta_f) = 2 \times 0.59\% = 1.18\% \approx 2.0\%$$


---