



中华人民共和国工业和信息化部 兵工民品计量技术规范

JJF(兵工民品) XXXX—20XX

光电二极管动态测试系统校准规范

Calibration Specification for Photodiode dynamic test system

(报批稿)

×××××—×××—×××发布

×××××—×××—×××实施

中华人民共和国工业和信息化部 发布

光电二极管动态测试系统 校准规范

JJF（兵工民品）XXXX—20XX

Calibration Specification for Photodiode
dynamic test system

归口单位：中国兵器工业标准化研究所

主要起草单位：中国兵器工业第二〇九研究所

本规范技术条文委托起草单位负责解释

本规范主要起草人：

黄宝平（中国兵器工业第二〇九研究所）

田 敬（中国兵器工业第二〇九研究所）

欧阳刚（中国兵器工业第二〇九研究所）

参加起草人：

祁祖峰（中国兵器工业第二〇九研究所）

夏宏强（中国兵器工业第二〇九研究所）

彭知贤（中国兵器工业第二〇九研究所）

何 坚（中国兵器工业第二〇九研究所）

蒲 艳（中国兵器工业第二〇九研究所）

目 录

引言 (II)

1 范围 (1)

2 引用文件 (1)

3 概述 (1)

4 计量特性 (2)

5 校准条件 (2)

5.1 环境条件 (2)

5.2 测量标准及配套设备 (2)

6 校准项目和校准方法 (3)

6.1 校准项目 (3)

6.2 校准方法 (3)

7 校准结果表达 (9)

8 复校时间间隔 (9)

附录 A 原始记录格式 (10)

附录 B 校准证书内页格式 (12)

附录 C 测量不确定度评定示例 (13)

引 言

本规范依据 JJF 1071-2010《国家计量校准规范编写规则》、JJF 1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》、JJF 1001-2011《通用计量术语及定义》编写。

本规范为首次发布。

光电二极管动态测试系统校准规范

1 范围

本规范适用于使用中、修理后和扩展改造的波长范围为 $0.9\text{ }\mu\text{m}\sim 1.55\text{ }\mu\text{m}$ 光电二极管动态测试系统（以下简称：动态测试系统）的校准。

2 引用文件

本规范引用了下列文件：

JJF 1597-2016 直流稳定电源校准规范

JJF 1198-2022 通信用可调谐激光源校准规范

JJF 1059.1-2012 测量不确定度评定与表示

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 概述

3.1 原理

动态测试系统包含测量放大器、光脉冲发生器、光电二极管偏压电源等性能参数模块，与示波器、超高频毫伏表、高灵敏微安表等测量仪器有机配合组成测量系统。

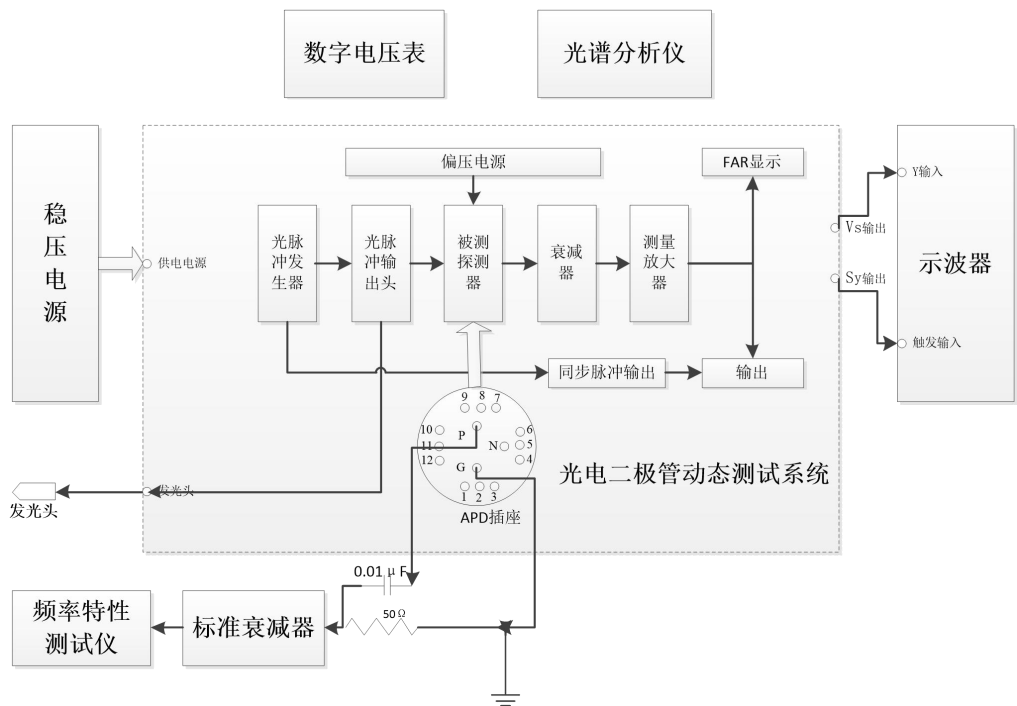


图1 动态测试系统原理图

3.2 用途

动态测试系统能够完成 PIN 光电二极管、雪崩光电二极管及其组件的响应特性、噪声特性以及光电二极管的最佳应用条件等关键参数的测试工作。

4 计量特性

动态测试系统的各项技术指标见表 1。

表 1 动态测试系统技术指标

序号	参数名称	测量范围和示值误差
1	放大器模块带宽	100kHz～30MHz，±10%
2	放大器模块增益	≥63dB
3	放大器模块增益调节	0dB～63dB ±0.1dB（≤3dB 时）； ±1dB（>3dB～≤50dB 时）； ±3dB（>50dB 时）
4	光脉冲发生器模块半宽度范围	20ns～500ns，±10%
5	光脉冲发生器模块重复频率	1Hz～1kHz，±10 %
6	光脉冲发生器模块波长	0.9 μm～1.55 μm，±0.01 μm
7	光电二极管偏压电源电压	10V～600V，±1V

5 校准条件

5.1 环境条件

5.1.1 环境温度：20℃±2℃。

5.1.2 相对湿度：≤80%。

5.1.3 不应有影响校准结果的振动、电磁干扰。

5.2 测量标准及配套设备

5.2.1 频率特性测试仪

频率范围 1kHz～100MHz，最大允许误差±2%。

用途：测量放大器模块带宽和增益。

5.2.2 示波器

带宽≥100MHz，最大允许误差±2%。

用途：测量光脉冲发生器模块的半宽度范围、重复频率和测量放大器模块的增益调节。

5.2.3 标准衰减器

最小调节步程应≤0.1dB，量程范围 0～70dB，最大允许误差±0.025dB（≤3dB 时）、

$\pm 0.25\text{dB}$ ($>3\text{dB} \sim \leq 50\text{dB}$ 时)、 $\pm 0.75\text{dB}$ ($>50\text{dB}$ 时)。

用途：测量放大器模块增益、增益调节及示值误差。

5.2.4 数字电压表

电压范围 $10\text{mV} \sim 1000\text{V}$ (直流)，最大允许误差应 $\pm 0.25\text{V}$ 。

用途：测量光电二极管偏压电源的电压。

5.2.5 光谱分析仪

范围 $0.6\text{ }\mu\text{m} \sim 1.7\text{ }\mu\text{m}$ ，最大允许误差 $\pm 0.0025\text{ }\mu\text{m}$ 。

用途：测量光脉冲发生器模块的波长。

5.2.6 配套设备

$50\text{ }\Omega$ 匹配电阻； $0.01\text{ }\mu\text{F}$ 电容器。

用途：在放大器模块带宽测试过程中，需要外接 1 个 $0.01\text{ }\mu\text{F}$ 电容器和 $50\text{ }\Omega$ 匹配电阻。若频率特性测试仪上带有 $50\text{ }\Omega$ 阻抗匹配功能，就不再需要外接 $50\text{ }\Omega$ 匹配电阻，只需外接 1 个 $0.01\text{ }\mu\text{F}$ 电容器。

6 校准项目和校准方法

6.1 校准项目

动态测试系统的校准项目见表 2。

表 2 动态测试系统校准项目一览表

序号	校准项目
1	放大器模块带宽
2	放大器模块增益
3	放大器模块增益调节
4	光脉冲发生器模块半宽度范围
5	光脉冲发生器模块重复频率
6	光脉冲发生器模块波长
7	光电二极管偏压电源电压

6.2 校准方法

6.2.1 外观和功能检查

用目测的方法检查被校仪器应标注型号和编号、制造厂商、接线标识，无影响使用的外观缺陷。

电缆连接可靠，设备预热至稳定工作状态（通常 30min ），动态测试系统工作选择开关置“ $\overline{FAR}$ ”档，信号选择开关置“外”档， $\overline{FAR}$ 指示器显示 9999 读数，则表示 $\overline{FAR}$ 、

Pf 和 Pd 指示器工作正常。

6.2.2 放大器模块带宽

a) 仪器连接如图 2 所示，频率特性测试仪信号输出端用 $50\ \Omega$ 匹配电阻与动态测试系统的放大器模块输入端“APD”插座连接。电缆终端接 $50\ \Omega$ 匹配电阻，用夹具把外屏蔽（地）与“APD”插座外园紧固，并接一地线插入“APD”的“G”插孔，电缆芯线（信号）经一只电容器（其容量 $\geq 0.01\ \mu\text{F}$ ）插入“P”插孔。把“APD”插座的“1”和“2”插孔用导线连接；

b) 将动态测试系统工作选择开关置“A0”档；

c) 将频率特性测试仪衰减量调到 15dB，输入衰减器的粗衰减调到“1:1”档，细衰减调过中间位置；

d) 将频率特性测试仪探头接到 $50\ \Omega$ 匹配电阻两端，检测放大器模块输入信号幅度。调节频率特性测试仪输入衰减器细调旋钮，使屏幕上显示的信号电平高度为 5 格；

e) 把动态测试系统衰减量增大到 63dB，探头移至动态测试系统 Vs 输出端，测量其输出信号。调节频率特性测试仪衰减器，使屏幕上的扫频线在 5MHz 频标处的幅度达到 5 格标示线为止；

f) 将动态测试系统衰减量减小 3dB。把频率特性测试仪的频偏旋钮调到最大位置，旋转中心频率旋钮，找出扫频线与 5 格标示线的交点，此交点的频标读数，符合带宽 100kHz~30MHz 之间的要求。读数时把频标开关拨在“1MHz”位置。

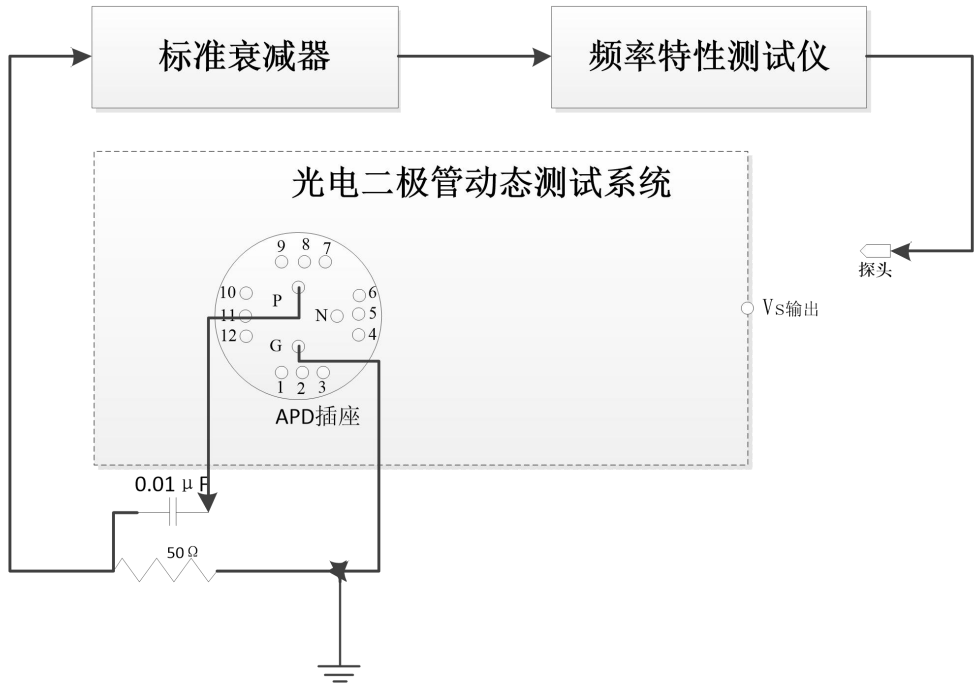


图 2 测量放大器校准示意图

6.2.3 放大器模块增益

6.2.3.1 放大器模块增益

a) 仪器连接如图 2 所示, 把动态测试系统衰减量调到零, 重复 6.2.2 条 a) ~d) 步骤, 记下标准衰减器读数;

b) 用补偿法测量放大器增益。把探头移至 V_s 输出端, 增大标准衰减器衰减量, 使频率特性测试仪屏幕上扫频线 5MHz 处的高度恢复到 5 格为止。记下此时的标准衰减器读数;

c) 两次衰减器读数之差即为测量放大器增益。

6.2.3.2 放大器模块增益调节

a) 如图 3 所示, 在“APD”插座上插入光电二极管组件, 并罩上发光头。把动态测试系统的工作选择开关置“AO”档, 重复频率开关置“1000”档, 脉冲模式开关置“0”档, 把动态测试系统上的增益调节衰减器调到 0, 光脉冲幅度旋钮左旋到 0 位, 偏压调节旋钮左旋到 0 位, 把标准衰减器调到 72dB, 示波器 Y 输入衰减器调到 200mV 档。

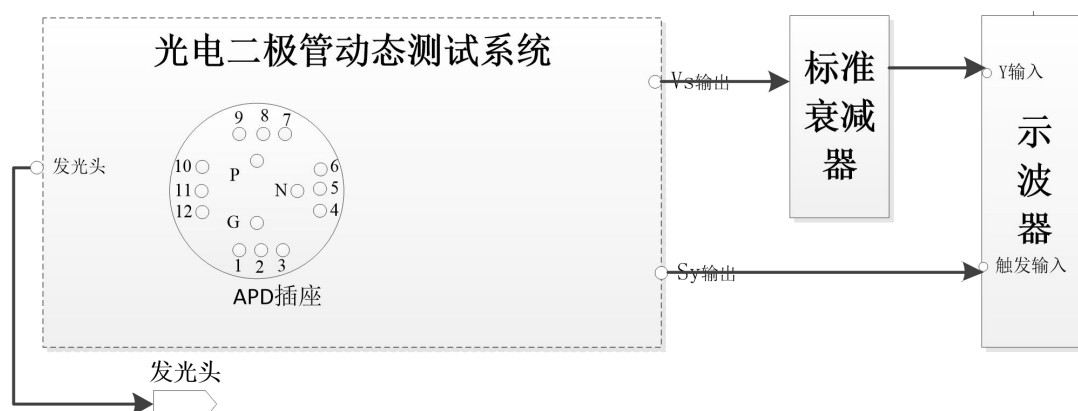


图 3 增益调节校准示意图

b) 把示波器扫描速度调到 200ns 档。把动态测试系统工作选择开关置“ $\overline{FAR}$ ”档, 脉冲模式开关置“开”档, 光电二极管偏压电源电压调到 200V 左右, 调节光脉冲幅度, 即可在示波器上观察到脉冲信号, 并把脉冲高度调到 5 格。

c) 逐个按下动态测试系统上的增益调节衰减器按键, 同时减小标准衰减器相应的衰减量, 并调节标准衰减器的 0.1dB 步程调节旋钮, 使被测衰减器每次衰减量变化后示波器上显示的脉冲高度恢复到 5 格。记下各格次衰减读数, 在衰减量达到 40dB 和 60dB 左右时, 调节光脉冲信号幅度和示波器灵敏度, 以便使校准在测量放大器动态范围内进行。

d) 按公式 (1) 计算增益调节衰减器标称值与标准衰减器读数示值误差。

$$\Delta E = A_i - B_i \quad (1)$$

式中:

ΔE ——增益调节示值误差, dB;

A_i ——增益调节衰减器标称值，dB；

B_i ——标准衰减器读数值，dB。

6.2.4 光脉冲发生器模块半宽度范围

a) 如图 4 所示，在动态测试系统的“APD”插座上插入光电二极管组件，并用发光头给光电二极管组件输入光脉冲信号，在示波器上观察脉冲波形。

b) 把示波器扫描速度调到 100ns 档，旋转动态测试系统脉冲宽度旋钮，示波器上显示的脉冲宽度从 20ns 变到 500ns，连续可调。



图 4 光脉冲半宽度校准示意图

6.2.5 光脉冲发生器模块重复频率

如图 5 所示，在“APD”插座上插入光电二极管组件，并用发光头给光电二极管组件输入光脉冲信号，用示波器测量“Vs”输出端输出的设定脉冲信号的重复频率。示值误差按公式（2）计算。

$$\Delta E = T_1 - T_2 \quad (2)$$

式中：

ΔE ——脉冲重复频率示值误差，Hz；

T_1 ——脉冲重复频率设定值，Hz；

T_2 ——脉冲重复频率实测值，Hz。



图 5 脉冲重复频率校准示意图

6.2.6 光脉冲发生器模块波长

6.2.6.1 光脉冲信号波长范围

a) 如图 6 所示，在动态测试系统的发光头端架设支架固定发光头，动态测试系统上电，将光谱分析仪的感光头架设在可调支架上，调节支架上的感光头位置，使其光路与发光头对齐，关闭房间照明灯光，在光谱分析仪上观察光脉冲信号的光谱曲线，记录此时光谱曲线的起点值和终点值。光谱分析仪上显示的光谱范围符合起点 $\leq 0.9\text{ }\mu\text{m}$ ，终点 $\geq 1.55\text{ }\mu\text{m}$ 要求。

b) 光谱分析仪的选择应根据发光头的波长范围进行选择，当发光头的工作波长在红外光谱范围时，则应选择范围覆盖红外波段的光谱分析仪。

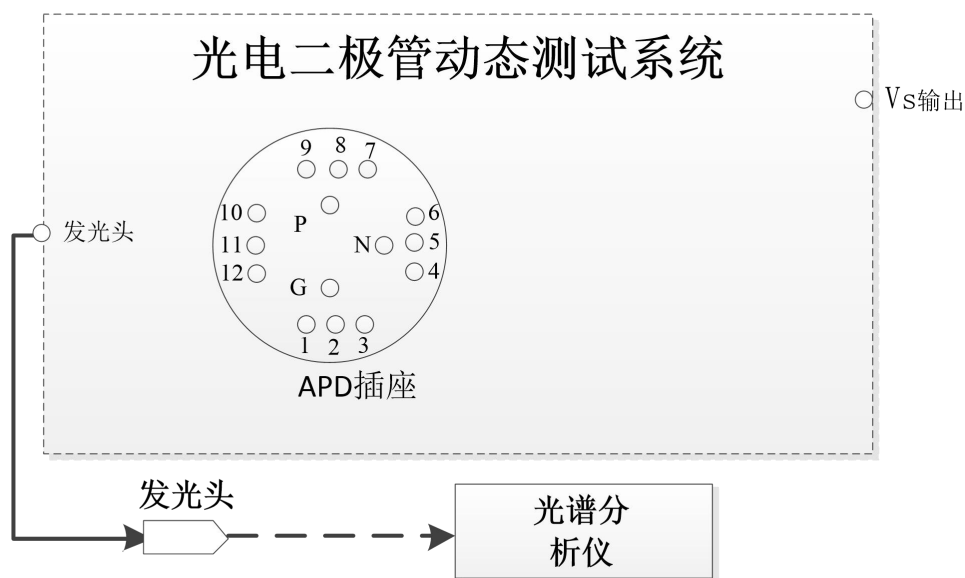


图6 光脉冲波长范围校准示意图

6.2.6.2 光脉冲信号波长示值误差

用光谱分析仪重复测试6次，操作方法与6.2.6.1相同，取6次测试结果的平均值作为光脉冲信号波长的实测值，选取光脉冲信号波长范围内的20%、50%、80%处的中心波长值与该处波长的实测值进行比较，其差值记为示值误差。示值误差按公式（3）计算：

$$\Delta\lambda = \bar{\lambda} - \lambda_i \quad (3)$$

式中：

$\Delta\lambda$ ——波长的示值误差， μm ；

$\bar{\lambda}$ ——6次测试结果的平均值， μm ；

λ_i ——选取点的中心波长值， μm 。

6.2.7 光电二极管偏压电源电压

a) 电压调节范围：将偏压调节旋钮沿顺时针方向从0调节到最右端，动态测试系统面板上的面板数字电压表显示的电压值，应符合0V~600V连续可调的要求。

b) 用两条导线从动态测试系统后面板偏压输出端连接到数字电压表输入端，将工作选择开关置“ $\overline{FAR}$ ”档。旋转动态测试系统偏压调节旋钮，调至需要的电压点测试，记下数字电压表的电压显示读数。通常电压点包含最小电压的20%，最大电压的80%，其余可根据使用需求选择电压点。示值误差按公式（4）计算。

$$\Delta E = V_A - V_B \quad (4)$$

式中：

ΔE ——偏压电源示值误差，V；

V_A ——偏压电源显示值，V；

V_B ——偏压电源实测值，V。

7 校准结果表达

校准结束后出具校准证书，推荐校准证书内页格式见附录B。校准证书应准确、客观的报告校准结果。校准结果用校准数据的形式给出，并根据JJF 1059.1-2012给出测量不确定度，不确定度评定示例见附录C。校准证书至少包含以下信息：

- a) 标题，如“校准证书”或“校准报告”；
- b) 实验室名称和地址；
- c) 进行校准的地点（如果不在实验室内进行校准）；
- 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) 送校单位的名称和地址；
- 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) 校准证书或校准报告签发人的签名，以及签发日期；
- 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，不得部分复制证书或报告的声明。

8 复校时间间隔

复校时间间隔由用户根据使用情况自行确定，一般不超过12个月。

附录 A

光电二极管动态动态动态测试系统校准原始记录格式

原始记录编号：

委托单位名称：						
制造厂：			仪器型号：		仪器编号：	
校准依据：			校准员：		核验员：	
校准日期：			校准地点：			
环境条件： 温度 ℃ 相对湿度： %						
计 量 标 准 器	名称	型号规格	编号	准确度等级/ 最大允许误差	证书编号	有效期

A. 1 外观和功能检查

检查项目	检查结果
外观	
$\overline{FAR}$ 、Pf、Pd 指示器功能	

A. 2 测量放大器测试

测试项目	校准结果			
带宽 (Hz)				
增益 (dB)				
增益调节 (dB)	标称值	实测值	示值误差	测量不确定度 U ($k=2$)

A. 3 光脉冲发生器测试

测试项目	校准结果						
光脉冲半宽度（ ns ）							
光脉冲信号 波长范围（ μm ）							
光脉冲重复频率	标称值	实测值		示值误差		测量不确定度 U （ $k=2$ ）	
光脉冲信号波长 示值误差（ μm ）	中心波长	实测值					
	中心波长	实测平均值		示值误差		测量不确定度 U （ $k=2$ ）	

A.4 光电二极管偏压电源

设定值	被测显示值	实测值	示值误差	测量不确定度 U ($k=2$)

附录 B

校准证书内页格式

1 外观和功能检查

2 测量放大器测试

2.1 测量放大器带宽

2.2 测量放大器增益

2.3 测量放大器增益调节示值误差

3 光脉冲发生器测试

3.1 光脉冲半宽度

3.2 光脉冲信号波长范围

3.3 光脉冲重复频率示值误差

3.4 光脉冲信号中心波长示值误差

4 光电二极管偏压电源电压示值误差

注：

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。

校准员：_____

核验员：_____

附录 C

测量不确定度评定示例

C.1 偏压电源示值误差测量不确定度的评定

C.1.1 测量模型

测量模型见公式 (C.1)。

$$\Delta E = V_A - V_B \quad (\text{C.1})$$

式中：

ΔE ——偏压电源示值误差， V ；

V_A ——偏压电源显示值， V ；

V_B ——偏压电源实测值， V 。

C.1.2 不确定度来源

标准不确定度分量主要有：由校准用数字电压表引入的标准不确定度分量 u_1 ，由测量重复性引入的不确定度评定 u_2 。

C.1.2.1 输入量 V_B 的标准不确定度评定 u_1

输入量 V_B 的标准不确定度由校准用数字电压表引入，其允许误差为 $\pm 1\%$ ，概率服从均匀分布， $k = \sqrt{3}$ ，以 50 V 电压档测试为例，则有

$$u_1 = \frac{0.01 \times 50}{\sqrt{3}} \approx 0.29 \text{ V}$$

C.1.2.2 测量重复性引入的标准不确定度评定 u_2

用 A 类方法评定，在重复性测量条件下，对 50 V 校准点进行 10 次测量，测量结果为：50.8、50.8、50.6、50.7、50.8、50.8、50.8、50.8、50.8、50.8，标准偏差 S 用下式计算：

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}} = 0.067 \text{ V}$$

$$u_2 = S = 0.067 \text{ V}$$

C.1.3 标准不确定度汇总

标准不确定度汇总见表 C.1。

表 C.1 标准不确定度汇总

各分量符合	标准不确定度分量来源	不确定度值 (V)	评定方法
u_1	校准用数字电压表允许误差	0.29	B 类
u_2	测量重复性	0.067	A 类

C.1.4 合成标准不确定度

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2} = 0.3 V$$

C.1.5 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，偏压电源示值误差扩展不确定度为：

$$U = k \cdot u_c = 0.6 V \quad (k=2)$$

C.2 光脉冲重复频率示值误差不确定度的评定

C.2.1 测量模型

测量模型见公式 (C.2)。

$$\Delta E = T_1 - T_2 \tag{C.2}$$

式中：

ΔE ——脉冲重复频率示值误差，Hz；

T_1 ——脉冲重复频率设定值，Hz；

T_2 ——脉冲重复频率实测值，Hz。

C.2.2 不确定度来源

光脉冲重复频率示值误差评定与偏压电源示值误差评定模型基本一致，且不确定度来源主要有：

- a) 校准用标准仪器允许误差引入的不确定度；
 - b) 测量重复性引入的不确定度；
- 则可参照偏压电源示值误差评定过程。

C.3 增益调节示值误差不确定度的评定

C.3.1 测量模型

测量模型见公式 (C.3)。

$$\Delta E = A_i - B_i \tag{C.3}$$

式中：

ΔE ——增益调节示值误差，dB；

A_i ——增益调节衰减器标称值, dB;

B_i ——标准衰减器读数值, dB。

C.3.2 不确定度来源

增益调节示值误差不确定度评定与偏压电源示值误差不确定度评定模型基本一致, 且不确定度来源主要有:

a) 校准用标准仪器允许误差引入的不确定度;

b) 测量重复性引入的不确定度;

则可参照偏压电源示值误差评定过程。

C.4 光脉冲信号波长示值误差不确定度的评定

C.4.1 测量模型

测量模型见公式 (C.4)。

$$\Delta\lambda = \bar{\lambda} - \lambda_i \quad (\text{C.4})$$

式中:

$\Delta\lambda$ ——波长的示值误差, μm ;

$\bar{\lambda}$ ——6 次测试结果的平均值, μm ;

λ_i ——选取点的中心波长值, μm 。

C.4.2 不确定度来源

标准不确定度分量主要有: 由校准用光谱仪允许误差引入的标准不确定度分量 u_1 , 由被检仪器允许的示值误差引入的标准不确定度分量 u_2 , 由取平均值引入的不确定度评定 u_3 。

C.4.2.1 由校准用光谱仪允许误差引入的标准不确定度评定 u_1

光谱仪允许误差为 $\pm 0.003 \mu\text{m}$, 区间半宽度为 $0.003 \mu\text{m}$, 服从均匀分布, $k = \sqrt{3}$, 则

$$u_1 = \frac{0.003}{\sqrt{3}} \approx 0.0017 \mu\text{m}$$

C.4.2.2 由被检仪器允许的示值误差引入的标准不确定度评定 u_2

被检仪器允光脉冲信号波长允许的示值误差为 $\pm 0.01 \mu\text{m}$, 区间半宽为 $0.01 \mu\text{m}$, 服从均匀分布, $k = \sqrt{3}$, 则

$$u_2 = \frac{0.01}{\sqrt{3}} \approx 0.0058 \mu\text{m}$$

C.4.2.3 由取平均值引入的标准不确定度评定 u_3

由于实测结果是用 6 次测量的平均值表示, 用 A 类方法评定, 以中心波长 $1.06 \mu\text{m}$ 为例, 其各单次测量结果为: 1.064、1.065、1.065、1.067、1.064、1.067, 其标准实

验偏差 S 用下式计算：

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} = 0.0014 \mu m$$

考虑到每次测量都要读 6 次取平均值作为实测值，所以：

$$u_3 = \frac{S}{\sqrt{6}} = 0.00056 \mu m$$

C.4.3 标准不确定度汇总

标准不确定度汇总见表 C.2。

表 C.2 标准不确定度汇总

各分量符合	标准不确定度分量来源	不确定度值 (μm)	评定方法
u_1	校准用光谱仪允许误差	0.0017	B 类
u_2	被检仪器允许的示值误差	0.0058	B 类
u_3	取平均值	0.00056	A 类

C.4.4 合成标准不确定度

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2} = 0.0061 \mu m$$

C.4.5 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，光脉冲信号波长示值误差扩展不确定度为：

$$U = k \cdot u_c = 0.012 \mu m \quad (k=2)$$

中华人民共和国工业和信息化部

兵工民品计量技术规范

光电二极管动态动态动态测试系统校准规范

JJF(兵工民品) XXXX—20XX

版权所有 不得翻印