



# 中华人民共和国国家计量技术规范

JJF 2076—2023

## 高速光电探测器校准规范

Calibration Specification for High Speed Photodetectors

2023-10-12 发布

2024-04-12 实施

国家市场监督管理总局 发布

# 高速光电探测器校准规范

Calibration Specification for High Speed  
Photodetectors

JJF 2076—2023

---

归口单位：全国无线电计量技术委员会

主要起草单位：中国计量科学研究院

参加起草单位：中国航天科工集团二院 203 所

**本规范主要起草人：**

冯志刚（中国计量科学研究院）

李建威（中国计量科学研究院）

赵科佳（中国计量科学研究院）

**参加起草人：**

龚鹏伟（中国航天科工集团二院 203 所）

# 目 录

引言 .....	( II )
1 范围 .....	( 1 )
2 引用文件 .....	( 1 )
3 术语 .....	( 1 )
3.1 直流响应度 .....	( 1 )
4 概述 .....	( 1 )
5 计量特性 .....	( 1 )
5.1 上升时间 .....	( 1 )
5.2 脉冲宽度 .....	( 1 )
5.3 直流响应度 .....	( 1 )
5.4 3 dB 带宽 .....	( 1 )
6 校准条件 .....	( 2 )
6.1 环境条件 .....	( 2 )
6.2 测量校准及其他设备 .....	( 2 )
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 .....	( 7 )
9 复校时间间隔 .....	( 7 )
附录 A 原始记录格式 .....	( 8 )
附录 B 校准证书内页格式 .....	( 10 )
附录 C 主要项目校准不确定度评定示例 .....	( 11 )

# 引 言

JJF 1071—2010《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—2012《测量不确定度评定与表示》共同构成支撑本规范编制工作的基础性系列规范。

本规范为首次发布。

# 高速光电探测器校准规范

## 1 范围

本规范适用于上升时间为 3 ps~100 ps 的光纤耦合型高速光电探测器的校准。

## 2 引用文件

本规范无引用文件。

## 3 术语

### 3.1 直流响应度 current responsivity

探测器输出电流除以探测器入射光功率，A/W。

## 4 概述

高速光电探测器是将光信号转化成高响应时间电信号的器件，主要应用于高速光信号检测、光通信系统及微波光子学等领域。其工作原理为：入射激光照到光电探测器的半导体吸收材料上，价带中的电子吸收光子能量后跃迁至导带产生光生载流子，在外加电场的作用下形成光电流，最后经阻抗匹配的同轴结构输出脉冲电压信号。此类基于内光电效应的高速光电探测器光波长响应范围通常在 400 nm~2 400 nm；输出电脉冲波形的上升时间可达 ps 量级，响应带宽可达百 GHz。高速光电探测器具有增益高、响应快、噪声低等特点，响应时间特性决定了探测器光电转换的快慢，可作为快沿脉冲发生器使用，并应用于微波电子测量仪器仪表的响应时间及频域特性等校准和检测。

## 5 计量特性

### 5.1 上升时间

范围：3 ps~100 ps；

最大允许误差：±(20%~5%)。

### 5.2 脉冲宽度

范围：7 ps~200 ps；

最大允许误差：±(20%~5%)。

### 5.3 直流响应度

范围：0.1 A/W~1.0 A/W；

最大允许误差：±15%。

### 5.4 3 dB 带宽

范围：3.5 GHz~110 GHz；

最大允许误差：±10%。

注：以上指标不作为合格性判别，仅供参考。

## 6 校准条件

### 6.1 环境条件

环境温度： $(23\pm 5)^{\circ}\text{C}$ ；

相对湿度： $\leq 80\%$ ；

供电电源： $(220\pm 11)\text{V}$ ， $(50\pm 1)\text{Hz}$ ；

校准过程中，周围无任何影响系统正常工作的振动、冲击及电磁干扰等。

电光采样法需在超净间内操作，洁净度优于7级，环境温度控制在 $20^{\circ}\text{C}\sim 25^{\circ}\text{C}$ 范围内，温度波动性不超过 $1^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度 $\leq 50\%$ 。

### 6.2 测量标准及其他设备

#### 6.2.1 飞秒脉冲激光器

波长范围： $400\text{nm}\sim 2400\text{nm}$ ；

脉冲重复频率范围及最大允许误差： $10\text{MHz}\sim 200\text{MHz}$ ， $\pm 2\%$ ；

脉冲宽度及最大允许误差： $\leq 300\text{fs}$ ， $\pm 5\%$ ；

激光平均功率： $3\text{mW}\sim 100\text{mW}$ ；

功率稳定度：优于 $\pm 1\%$ （30 min）。

#### 6.2.2 示波器

带宽： $50\text{GHz}\sim 100\text{GHz}$ 。

注：带宽大于被校高速光电探测器标称带宽3倍以上。

#### 6.2.3 电光采样模块

波长范围： $400\text{nm}\sim 2400\text{nm}$ ；

带宽范围： $50\text{GHz}\sim 110\text{GHz}$ ；

上升时间： $7\text{ps}\sim 3\text{ps}$ ，不确定度： $1.2\text{ps}$ （ $k=2$ ）。

#### 6.2.4 可变光衰减器

波长范围： $400\text{nm}\sim 2400\text{nm}$ ；

衰减范围： $0\text{dB}\sim 30\text{dB}$ ；

最大允许误差： $\pm 1.0\text{dB}$ 。

#### 6.2.5 可调谐半导体激光器

波长范围： $400\text{nm}\sim 2400\text{nm}$ ；

激光平均功率： $3\text{mW}\sim 10\text{mW}$ ；

功率稳定性： $\pm 0.5\%$ （30 min）。

#### 6.2.6 光外差光源

差频范围： $0\text{GHz}\sim 110\text{GHz}$ ；

差频最大允许误差： $\pm 1\text{GHz}$ 。

#### 6.2.7 微波功率计

频率范围： $10\text{MHz}\sim 110\text{GHz}$ ；

功率范围： $-10\text{dBm}\sim 0\text{dBm}$ ；

功率测量不确定度： $0.04\text{dB}\sim 0.32\text{dB}$ （ $k=2$ ）。

## 6.2.8 光功率计

波长范围：400 nm～2 400 nm；

功率范围：1  $\mu$ W～100 mW；

最大允许误差： $\pm(3\% \sim 7\%)$ 。

## 6.2.9 数字电流表

直流电流范围：1 mA～100 mA；

最大允许误差： $\pm(3\% \sim 10\%)$ 。

## 6.2.10 微波频率计

频率范围：10 MHz～110 GHz；

频率最大允许误差： $\pm 5 \times 10^{-8}$ 。

## 6.2.11 光纤分束器

波长范围：400 nm～2 400 nm；

功率分束比：1：1；

分束比最大允许误差： $\pm 2\%$ 。

## 6.2.12 高速光电转换器

波长范围：400 nm～2 400 nm；

频率范围：3.5 GHz～110 GHz。

## 7 校准项目和校准方法

## 7.1 校准项目

校准项目见表 1。

表 1 校准项目表

序号	校准项目名称
1	上升时间和脉冲宽度
2	直流响应度
3	3 dB 带宽

## 7.2 校准方法

## 7.2.1 外观及功能正常性检查

被校高速光电探测器应配有说明书和全部必备附件。被校高速光电探测器及全部附件外形结构应完好无损，各部件机械结构应安装牢固，调节正常。被校高速光电探测器及标准器按照说明书要求预热。用飞秒脉冲激光器激励被校高速光电探测器，并将输出电信号输入至示波器，观察示波器上是否显示正常的脉冲波形，相应检查结果填入表 A.1 中。

## 7.2.2 上升时间和脉冲宽度

## 7.2.2.1 示波器法



a) 仪器连接如图 1 所示, 用可变光衰减器将飞秒脉冲激光器的输出功率调节至被校高速光电探测器损伤阈值允许范围内, 然后与被校高速光电探测器尾纤输入端相连, 而被校高速光电探测器的输出端与示波器信号输入端连接, 同时将飞秒脉冲激光器的重频同步输出端口与示波器的外触发输入端相连接。

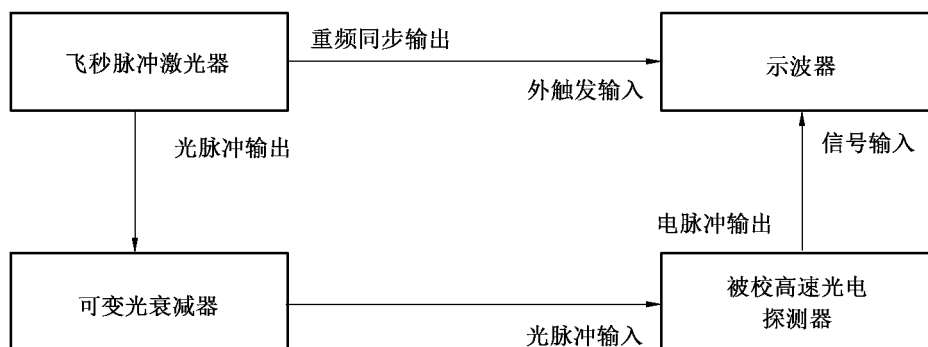


图 1 示波器法仪器连接示意图

b) 保持系统连接稳定, 打开被校高速光电探测器的供电电源, 调节示波器的垂直灵敏度系数, 使被校高速光电探测器输出的电脉冲波形峰-峰值对应通道量程的 50%~80%, 调整触发电平和时基, 使脉冲波形信号在示波器上持续稳定显示。

c) 从示波器上直接读取被校高速光电探测器输出电脉冲波形的上升时间的测量值, 重复读取  $n$  次 ( $n \geq 10$ ), 将  $n$  次测量结果记录于表 A. 2 的表格中。按照公式 (1) 计算上升时间示值的平均值:

$$\bar{t}_r = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_{ri} \quad (1)$$

式中:

$\bar{t}_r$ ——被校高速光电探测器上升时间示值的平均值, ps;

$n$ ——测量次数;

$t_{ri}$ ——第  $i$  次测量得到的被校高速光电探测器上升时间测量值, ps。

d) 调节示波器的水平灵敏系数, 使示波器屏幕上只显示一个电脉冲波形, 从示波器上读取脉冲宽度的测量值, 重复读取  $n$  次 ( $n \geq 10$ ), 将  $n$  次测量结果记录于表 A. 2 的表格中。按照公式 (2) 计算脉冲宽度示值的平均值:

$$\bar{\tau} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \tau_i \quad (2)$$

式中:

$\bar{\tau}$ ——被校高速光电探测器脉冲宽度示值的平均值, ps;

$n$ ——测量次数;

$\tau_i$ ——第  $i$  次测量得到的被校高速光电探测器脉冲宽度测量值, ps。

e) 将上升时间和脉冲宽度计算的示值的平均值记录于表 A. 2 的相应表格中。

#### 7.2.2.2 电光采样法

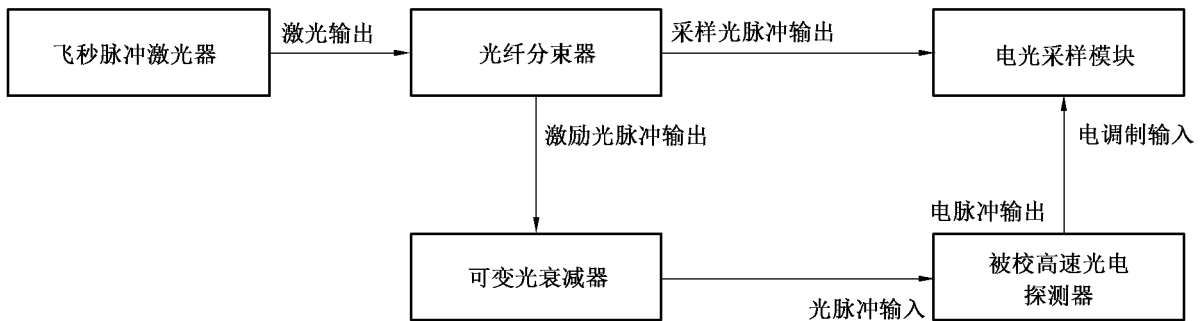


图 2 电光采样法校准连接示意图

a) 仪器连接如图 2 所示，飞秒脉冲激光器的输出由分束比为 1 : 1 的光纤分束器分成两束，其中一束作为激励光脉冲经可变光衰减器输入到被校高速光电探测器尾纤中，并调节可变光衰减器使入射光功率在被校高速光电探测器的损伤阈值允许范围内；另一束作为采样光脉冲输入到电光采样模块中，被校高速光电探测器电脉冲输出端与电光采样模块的电调制输入端连接。

b) 设置电光采样模块的采样点数和采样步长，使整体采样点数不低于 1 000，脉冲波形部分采样点数不少于 100。从数据采集计算机中获取被校高速光电探测器输出电脉冲波形的采样实验数据，采用众数法计算得到脉冲波形的上升时间和脉冲宽度，重复测量  $n$  次 ( $n \geq 10$ )，将  $n$  次测量结果记录于表 A.3 的表格中。按照公式 (1) 和公式 (2) 分别计算上升时间示值的平均值  $\bar{t}_r$  和脉冲宽度示值的平均值  $\bar{\tau}$ 。

c) 将计算的上升时间和脉冲宽度示值的平均值记录于表 A.3 的相应表格中。

### 7.2.3 直流响应度

a) 仪器连接如图 3 所示，调节可调谐半导体激光器的输出功率使其在被校高速光电探测器的损伤阈值允许范围内，利用分束比为 1 : 1 的光纤分束器将与被校高速光电探测器波长响应匹配的可调谐半导体激光器的输出分成两束。光纤分束器输出的其中一束输入到被校高速光电探测器尾纤中，然后用数字电流表测量高速光电探测器的输出电流，另一束由光功率计测量光功率。

b) 在光功率计和数字电流表中分别读取设定激光波长下的光功率和电流，重复测量  $n$  次 ( $n \geq 10$ )，按照公式 (3) 和公式 (4) 分别计算光功率和电流的平均值：

$$\overline{P_\lambda} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_{\lambda i} \quad (3)$$

$$\overline{I_\lambda} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n I_{\lambda i} \quad (4)$$

式中：

$\overline{P_\lambda}$  —— 响应波长为  $\lambda$  时的被校高速光电探测器入射光功率的平均值，W；

$\overline{I_\lambda}$  —— 响应波长为  $\lambda$  时的被校高速光电探测器输出电流的平均值，A；

$n$  —— 测量次数；

$P_{\lambda i}$  —— 第  $i$  次测量得到的响应波长为  $\lambda$  时的被校高速光电探测器入射光功率测量值，W；

$I_{\lambda i}$  ——第  $i$  次测量得到的响应波长为  $\lambda$  时的被校高速光电探测器输出电流测量值, A。

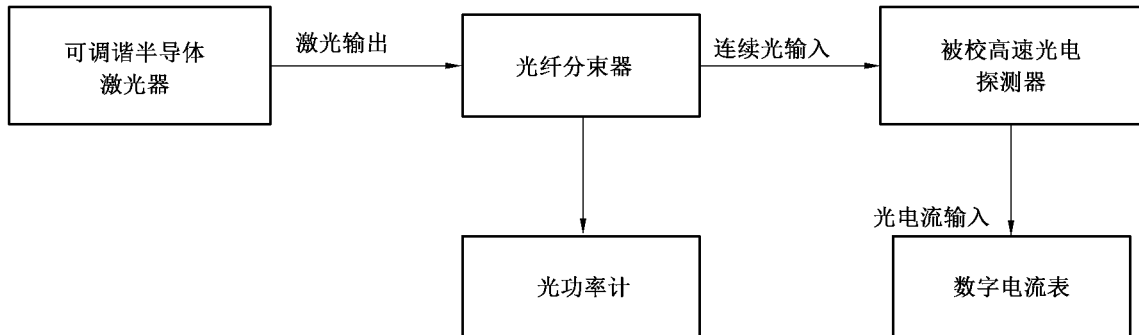


图3 直流响应度校准连接示意图

c) 按照公式 (5), 计算得到设定响应波长为  $\lambda$  的被校准高速探测器直流响应度  $R_{\lambda I}$ , 将计算结果记录于表 A.4 的表格中:

$$R_{\lambda I} = \overline{I_{\lambda}} / \overline{P_{\lambda}} \quad (5)$$

式中:

$R_{\lambda I}$  ——直流响应度, A/W;

$\overline{P_{\lambda}}$  ——响应波长为  $\lambda$  时的被校高速光电探测器入射光功率的平均值, W;

$\overline{I_{\lambda}}$  ——响应波长为  $\lambda$  时的被校高速光电探测器输出电流的平均值, A。

d) 固定激光器输出光功率不变, 在被校高速光电探测器波长响应范围内改变激光器波长, 重复测量步骤 b)~c), 完成所有波长测量。

#### 7.2.4 3 dB 带宽

a) 仪器连接如图 4 所示, 光外差光源经过分束比为 1:1 的光纤分束器 1 将光信号分成 A 和 B 两束, 其中 A 束激励高速光电转换器将光信号转化成电信号, 然后由微波频率计测量光外差光源的激发频率值。B 束光信号被分束比为 1:1 的光纤分束器 2 分成 C 和 D 两路, C 路光信号直接由光功率计测量其光功率值; D 路光信号输入到被校高速光电探测器进行光电转化, 然后用微波功率计测量光电探测器的输出电功率值。

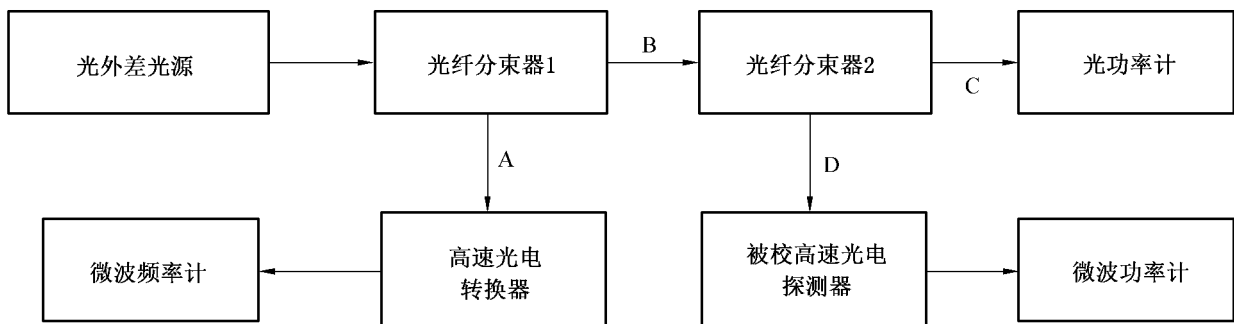


图4 3 dB 带宽校准连接示意图

b) 对光外差光源的输出频率进行精细扫描, 然后读取每个测量点的光外差微波光源激发频率  $f$ 、被校高速光电探测器的输入光功率  $P_{of}$  和输出电功率  $P_{ef}$  值, 重复测量  $n$  次 ( $n \geq 10$ ), 将其记录于表 A.5 的相应表格中。

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/575140043202011043>