

中华人民共和国工业和信息化部
通信计量技术规范

JJF(通信)XXXX-XXXX

紫外-可见光波段光纤光谱分析仪
校准规范

Calibration Specification for Ultraviolet-Visible Fiber Optic Spectrum Analyzers

(报批稿)

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

中华人民共和国工业和信息化部 发布

紫外-可见光波段光纤光
谱分析仪校准规范
Calibration Specification for
Ultraviolet-Visible Fiber Optic
Spectrum Analyzers

JJF(通信)XXXX-XXXX

归口单位：中国信息通信研究院

主要起草单位：中国信息通信研究院

参加起草单位：天津德力仪器设备有限公司

本规范条文委托起草单位负责解释

本规范主要起草人：

傅栋博（中国信息通信研究院）

孙小强（中国信息通信研究院）

杨 琨（中国信息通信研究院）

参加起草人：

陈 韬（天津德力仪器设备有限公司）

程丽媛（天津德力仪器设备有限公司）

孙景禄（中国信息通信研究院）

目录

引言..... II

1 范围..... 1

2 引用文件..... 1

3 概述..... 1

4 计量特性..... 1

4.1 光波长..... 1

4.2 光功率..... 2

5 校准条件..... 2

5.1 环境条件..... 2

5.2 测量标准及其他设备..... 2

6 校准项目和校准方法..... 3

6.1 校准前检查..... 3

6.2 光波长示值..... 3

6.3 分辨力带宽..... 4

6.4 动态范围..... 4

6.5 光功率示值和功率非线性..... 5

7 校准结果表达..... 6

8 复校时间间隔..... 6

附录 A 原始记录推荐格式..... 7

附录 B 校准证书内页推荐格式..... 9

附录 C 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 1001-2011《通用计量术语及定义》、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。

本规范为首次发布。

紫外-可见光波段光纤光谱分析仪校准规范

1 范围

本规范适用于波长范围为（350～1100）nm 紫外-可见光波段光纤光谱分析仪（以下简称光谱分析仪）的校准。

2 引用文件

本规范引用了下列文件：

IEC 62129-1: 2016 波长/光频率测量设备的校准第 1 部分：光谱分析仪（Calibration of wavelength/optical frequency measurement instruments-Part 1: Optical spectrum analyzers）

注：凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本规范

3 概述

光谱分析仪是用来测量光信号光谱功率分布的计量器具。光谱分析仪可以测量光源等有源器件的光谱分布，也可以测量一些无源器件的光谱传输特性。

光谱分析仪的基本原理如图 1 所示，通常由波长选择模块、光电探测模块、信号处理和显示模块等几部分构成。

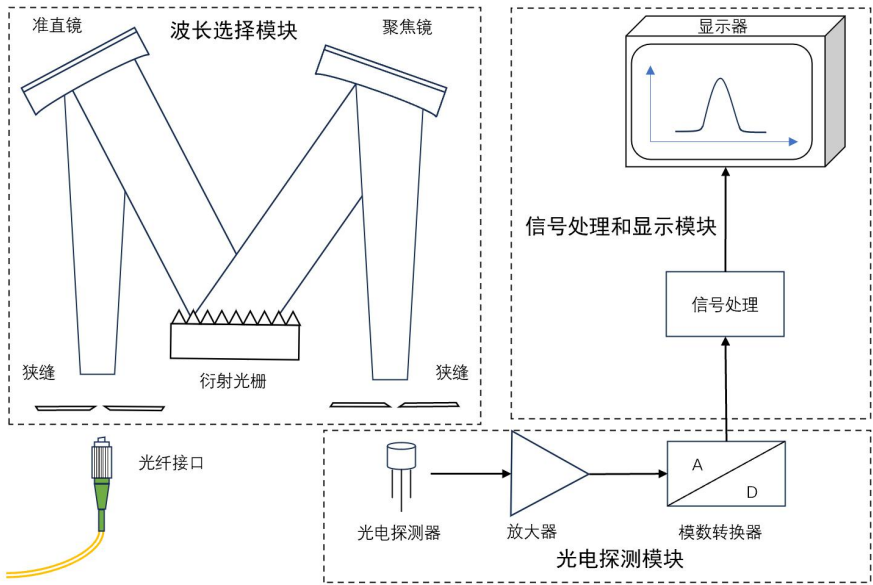


图 1 光谱分析仪原理图

4 计量特性

4.1 光波长

- a) 分辨力带宽最大允许误差：±20%；
- b) 光波长示值最大允许误差：±0.2 nm。

4.2 光功率

- a) 光功率示值最大允许误差: ± 1 dB;
- b) 动态范围: ≥ 60 dB;
- c) 光功率非线性: ± 0.13 dB (-40 dBm ~ 0 dBm)。

注: 以上所有指标不用于合格性判别, 仅提供参考。

5 校准条件

5.1 环境条件

- a) 环境温度 (23 ± 5) $^{\circ}\text{C}$, 校准过程中环境温度变化不大于 ± 2 $^{\circ}\text{C}$;
- b) 相对湿度 $\leq 85\%$;
- c) 校准区域不应有影响测量结果的电磁场干扰和机械振动。

5.2 测量标准及其他设备

5.2.1 窄线宽激光器

- a) 中心波长: 在 ($350 \sim 1100$) nm 波长范围内至少 3 个定标波长, 需兼顾测量范围的上下限。建议波长: (355 ± 5) nm、(633 ± 5) nm、(850 ± 5) nm、(980 ± 5) nm、(1064 ± 5) nm;
- b) 激光器线宽: ≤ 500 MHz;
- c) 波长稳定度: 不超过 ± 0.005 nm/5min;
- d) 输出方式: 光纤连接器。

5.2.2 850 nm 光源

- a) 输出光功率: ≥ 3 dBm ($850\text{nm} \pm 5$ nm);
- b) 输出光功率稳定度: 不超过 ± 0.1 dB/15min;

5.2.3 标准光波长计

- a) 工作波长: 满足校准要求的工作波长, 范围应包含 ($350 \sim 1100$) nm;
- b) 光波长不确定度: $U_{\text{rel}} = 5 \times 10^{-6}$ ($k=2$);
- c) 输入方式: 光纤连接器。

5.2.4 标准光功率计

- a) 工作波长: (850 ± 5) nm ;
- b) 光功率范围: -40 dBm ~ 0 dBm;
- c) 光功率测量不确定度: 不超过 0.2 dB ($k=2$);
- d) 功率非线性: 不超过 ± 0.02 dB。

5.2.5 光衰减器

- a) 工作波长: 应包含 (850 ± 5) nm;
- b) 衰减范围: ≥ 45 dB;
- c) 插入损耗: ≤ 3 dB;

- d) 输入输出方式：光纤连接型，单模多模不限，建议为 FC/APC 型光纤连接器。

6 校准项目和校准方法

6.1 校准前检查

- 被校样品应具备规格、型号、制造厂名、制造日期、设备编号及相应的警示标志等；
- 被校样品无影响其电气和光学性能的机械损伤；各紧固件应紧固良好；调节旋钮、按键、开关等均应工作正常，无松动现象；各接插件紧密配合，接触良好；显示值清晰；
- 被校样品应带有必要的附件、说明书；
- 应将被校样品置于平稳工作台上；
- 校准用设备应在检定或校准周期内使用；
- 所有校准用设备和被校光谱分析仪均按照说明书的要求进行预热和自校准；
- 各段连接光纤在整个校准过程中应保持固定，每次插拔光纤接头应进行清洁。

6.2 光波长示值

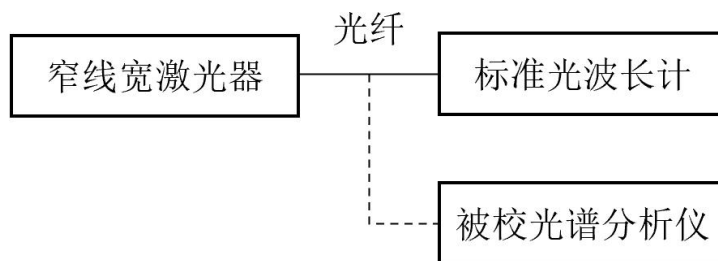


图 2 波长示值校准示意图

- 按图 2 实线所示连接校准设备光谱分析仪设置为真空波长模式，调节激光器输出功率，使光纤末端输出功率小于标准光波长计和被校光谱分析仪的最大接收功率，标准光波长计所测的波长值 $\lambda_{\text{REF}i}$ ($i=1,2,3$)；
- 再按图 2 虚线所示连接被校光谱分析仪。将被校光谱分析仪的分辨力设置为最小值，设置被校光谱分析仪参数使得光谱曲线完整清晰，被校光谱分析仪所测峰值波长 $\lambda_{\text{OSA}j}$ ($j=1,2,3$)；
- 重复步骤 a) 和步骤 b) 3 次，将测试结果记入原始记录，原始记录推荐格式见附录 A；
- 根据公式(1)和(2)分别计算其算术平均值 $\lambda_{\text{REF}i}$ 和 $\lambda_{\text{OSA}i}$ 作为标准光波长计和被校光谱分析仪的实际测量值，根据公式(3)计算示值误差 $\Delta\lambda$ ，并记录测试结果；

$$\lambda_{\text{REF}} = \frac{\sum_{i=1}^3 \lambda_{\text{REF}i}}{3} \quad (1)$$

$$\lambda_{\text{OSA}} = \frac{\sum_{j=1}^3 \lambda_{\text{OSA}j}}{3} \quad (2)$$

$$\Delta\lambda = \lambda_{\text{OSA}} - \lambda_{\text{REF}} \quad (3)$$

- e) 更换窄线宽激光器，重复步骤 a) 至步骤 d)，直至完成其余波长点的示值误差校准。

6.3 分辨力带宽

- a) 参考 IEC 62129-1: 2016 中的 7.2 条，用谱宽远小于被校光谱分析仪设置分辨力带宽的光源输入该光谱分析仪，此时光谱分析仪所显示光谱曲线的半高全宽（FWHM）值，即为该光谱分析仪当前设置条件下的实际分辨力带宽；



图 3 分辨力带宽和动态范围校准示意图

- b) 按图 3 连接校准设备，使用 633 nm 或产品手册规定波长的窄线宽激光器，调节激光器输出功率，使光纤末端输出功率小于光谱分析仪所允许的最大接收光功率；
- c) 设置被校光谱分析仪的分辨力带宽为 R_{SET} ，按照产品手册规定设置分辨率相关参数（例如开启“分辨力带宽修正”）；
- d) 设置光标或采用自动测试功能，读取被校光谱分析仪在当前分辨力带宽下，所测得的 FWHM 值 $R_{\text{REF}i}$ ($i=1,2,3$)，
- e) 重复步骤 a) 至步骤 c) 3 次，按照公式 (4) 计算其算术平均值作为被校光谱分析仪分辨力带宽的实际值 R_{REF} ，将测试结果记入原始记录；

$$R_{\text{REF}} = \frac{\sum_{i=1}^3 R_{\text{REF}i}}{3} \quad (4)$$

- f) 根据公式(5)计算分辨率带宽的相对示值误差 ΔR ，将测试结果记入原始记录；

$$\Delta R = \left| \frac{R_{\text{SET}} - R_{\text{REF}}}{R_{\text{REF}}} \right| \times 100\% \quad (5)$$

- g) 设置被校光谱分析仪为其他分辨力带宽，重复步骤 a) 至步骤 f)，完成其余分辨力带宽的相对示值误差校准。

6.4 动态范围

- a) 按图 3 连接校准设备。使用 633 nm 或产品手册规定波长的窄线宽激光器，调整激光器的输出功率，使输出功率小于被校光谱分析仪的最大接收功率；
- b) 设置被校光谱分析仪为 0.02 nm 分辨力带宽（或按照产品手册规定设置）；

- c) 记录窄线宽激光器中心波长位置的峰值功率 P_{pki} ($i=1,2,3$);
- d) 窄线宽激光器中心波长向左右两侧偏移 0.5 nm 波长 (或按照产品手册选择波长的偏移值), 取两侧中较低的光功率值 P_j ($j=1,2,3$);

$$P_{\text{peak}} = \frac{\sum_{i=1}^3 P_{\text{pki}}}{3} \quad (6)$$

$$P_{\text{d}} = \frac{\sum_{j=1}^3 P_j}{3} \quad (7)$$

$$D = P_{\text{peak}} - P_{\text{d}} \quad (8)$$

- e) 重复骤 a) 至步骤 d) 3 次, 按公式(6)计算峰值光功率平均值 P_{peak} , 按公式(7)计算波长偏移光功率平均值 P_{d} , 按公式(8)计算光谱分析仪的动态范围 D , 将测试结果记入原始记录。

6.5 光功率示值和功率非线性



图 4 光功率示值误差和功率非线性校准示意图

- a) 按图 4 实线所示连接校准设备, 调节光衰减器, 使标准光功率计示值到目标功率值 0 dBm 附近;
- b) 读取 3 次标准光功率计所测的功率值 $P_{\text{REF}i}$ ($i=1,2,3$);
- c) 按图 4 虚线所示连接被校光谱分析仪, 设置被校光谱分析仪的分辨力大于 0.1 nm, 设置被校光谱分析仪参数使得光谱曲线完整清晰, 读取 3 次被校光谱分析仪所测总功率值 $P_{\text{OSA}j}$ ($j=1,2,3$);
- d) 根据公式(9)和(10)分别计算其算术平均值 P_{REF} 和 P_{OSA} 作为标准光功率计和被校光谱分析仪的实际测量值, 根据公式(11)计算示值误差 ΔP , 将测试结果记入原始记录;

$$P_{\text{REF}} = \frac{\sum_{i=1}^3 P_{\text{REF}i}}{3} \quad (9)$$

$$P_{\text{OSA}} = \frac{\sum_{j=1}^3 P_{\text{OSA}j}}{3} \quad (10)$$

$$\Delta P = P_{\text{OSA}} - P_{\text{REF}} \quad (11)$$

- e) 以 10 dB 为间隔重复步骤 a) 至步骤 d) 直至覆盖 (-40~0) dBm 光功率范围, 按公式(12)计算功率非线性 NL :

$$NL = \pm \frac{(\Delta P_{\text{MAX}} - \Delta P_{\text{MIN}})}{2} \quad (12)$$

式中:

ΔP_{MAX} —— (-40~0) dBm 光功率范围内最大光功率示值误差, dB;

ΔP_{MIN} —— (-40~0) dBm 光功率范围内最小光功率示值误差, dB。

7 校准结果表达

校准结果应在校准证书上反映, 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, 并给出测量不确定度, 不确定度评定实例见附录 C。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和应用有关时, 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。

8 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。建议不超过 1 年。

附录 A

原始记录推荐格式

证书编号：

共 页，第 页

一、光波长示值

标准值 (nm)			平均值 (nm)	测量值 (nm)			平均值 (nm)	示值误差 (nm)	扩展不确定度 (nm)
第 1 次	第 2 次	第 3 次		第 1 次	第 2 次	第 3 次			

二、分辨力带宽相对示值

标准值 (nm)			平均值 (nm)	设置值 (nm)	相对误差
第 1 次	第 2 次	第 3 次			

三、动态范围

峰值光功率 P_{peak} (dBm)	偏移光功率值 P_d (dBm)			测量结果 D (dB)
	第 1 次	第 2 次	第 3 次	

四、光功率示值和功率非线性

标准值 (dBm)			平均值 (dBm)	测量值 (dBm)			平均值 (dBm)	示值误差 (dB)	扩展不确定度 (dB)
第 1 次	第 2 次	第 3 次		第 1 次	第 2 次	第 3 次			

非线性 (____~____): $\pm \frac{(\Delta P_{max} - \Delta P_{min})}{2} = \pm$ ____ dB

温度	℃	相对湿度	%
校准日期			

校准人 (签名):

核验人 (签名):

附录 B

校准证书内页推荐格式

证书编号：

共 页，第 页

一、 光波长示值：

标准值 (nm)	测量值 (nm)	示值误差 (nm)	扩展不确定度 (nm)
...	...	...	...

二、 分辨力带宽：

设置值 (nm)	测量值 (nm)	相对示值误差
...	...	...

三、 光功率示值：

标准值 (dBm)	测量值 (dBm)	示值误差 (dB)	扩展不确定度 (dB)
...	...	...	

四、 动态范围: dB

五、 功率非线性: dB

附录 C

不确定度评定示例

依据紫外-可见光波段光谱分析仪校准规范的各校准项目的计量特性、校准条件及校准方法的规定，对型号为 AE8805 的光谱分析仪，对其 633 nm 的光波长示值、光功率示值进行了校准，并对测量结果的不确定度进行了评定。

C.1 光波长示值

C.1.1 测量不确定度来源

- 1) 窄线宽激光器波长稳定性引入的不确定度 u_1 ;
- 2) 光波长计准确度引入的不确定度 u_2 ;
- 3) 被校光谱分析仪重复性引入的不确定度 u_3 ;
- 4) 被校光谱分析仪分辨力引入的不确定度 u_4 ;

C.1.2 测量不确定度评定

C.1.2.1 窄线宽激光器波长稳定性引入的不确定度分量:

窄线宽激光器波长稳定度为 $\pm 0.005\text{nm}/5\text{min}$ ，单一波长点校准时间远小于 5 分钟，因此按均匀分布则：

$$u_1 = \frac{0.005}{\sqrt{3}} = 0.0029 \text{ nm} \quad (\text{C.1})$$

C.1.2.2 光波长计准确度引入的不确定度分量:

光波长计相对不确定度 $U_{rel} = 5 \times 10^{-6}$ ($k=2$)，按中心波长 633nm 换算波长精度为 0.0032 nm:

$$u_2 = \frac{0.0032}{2} = 0.0016 \text{ nm} \quad (\text{C.2})$$

C.1.2.3 被校光谱分析仪重复性引入的不确定度分量:

表 C.1 型号为 AE8805 的光谱分析仪测量结果

测量次数	光波长示值/nm
1	632.9677
2	632.9685
3	632.9694
平均值	632.9685

按极差法，测量次数 $n=3$ ，极差系数 $C=1.69$ ，按公式 C.3 计算重复性引入的不确定度分量 u_3 ：

$$u_3 = \frac{\lambda_{i\max} - \lambda_{i\min}}{C \times \sqrt{n}} = 0.0002 \text{ nm} \quad (\text{C.3})$$

式中:

n ——重复测试次数;

$\lambda_{i\max}$ ——光波长示值最大值, nm;

$\lambda_{i\min}$ ——光波长示值最小值, nm ;

C ——极差系数。

C.1.2.4被校光谱分析仪分辨力引入的不确定度分量:

被校光谱分析仪分辨力为 0.02 nm, 按均匀分布则:

$$u_4 = \frac{0.02}{2 \times \sqrt{3}} = 0.0058 \text{ nm} \quad (\text{C.4})$$

C.1.3 标准不确定度的合成

C.1.3.1 标准不确定度评定表

表 C.2 标准不确定度来源汇总表

序号	不确定度来源	u_i /nm
1	线宽激光器波长稳定性	$u_1=0.0029 \text{ nm}$
2	光波长计准确度	$u_2=0.0016 \text{ nm}$
3	被校光谱分析仪测量重复性	$u_3=0.0002 \text{ nm}$
4	被校光谱分析仪分辨力	$u_4=0.0058 \text{ nm}$

C.1.3.2 合成标准不确定度为:

由于 u_3 和 u_4 重复计算, 选择较大者进行合成, 合成标准不确定度为:

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_4^2} = 0.0067 \text{ nm} \quad (\text{C.5})$$

C.1.4 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$, 则

$$U = k \times u_c = 0.014 \text{ nm} \quad (\text{C.6})$$

可得到光波长示值误差在包含因子 $k=2$ 时, 扩展不确定度 0.014 nm。

C.2 光功率示值

C.2.1 测量不确定度来源

- 1) 窄线宽激光器功率稳定性引入的不确定度 u_1 ;
- 2) 光功率计准确度引入的不确定度 u_2 ;
- 3) 被校光谱分析仪重复性引入的不确定度 u_3 ;

C.2.2 测量不确定度评定

C.2.2.1 窄线宽激光器功率稳定性引入的不确定度分量:

窄线宽激光器功率稳定度为 ± 0.1 dB/15min, 单一波长点校准时间远小于 15 分钟, 因此按均匀分布 $k_1 = \sqrt{3}$, 则:

$$u_1 = \frac{0.1}{\sqrt{3}} = 0.058 \text{ dB} \quad (\text{C.7})$$

C.2.2.2 光功率计准确度引入的不确定度分量:

光功率计不确定度为 $U = 0.09$ dB ($k=2$), 按下式计算标准不确定度:

$$u_2 = \frac{0.09}{2} = 0.045 \text{ dB} \quad (\text{C.8})$$

C.2.2.3 光功率计重复性引入的不确定度分量:

表 C.3 光功率计测量结果

测量次数	光功率示值 $P_{\text{ref}}/\text{dBm}$
1	-10.332
2	-10.301
3	-10.321
平均值	-10.32

按极差法, 测量次数 $n=3$, 极差系数 $C=1.69$, 按公式 C.3 计算重复性引入的不确定度分量 u_3 :

$$u_3 = \frac{P_{\text{ref}i\text{max}} - P_{\text{ref}i\text{min}}}{C \times \sqrt{n}} = 0.011 \text{ dB} \quad (\text{C.9})$$

式中:

n ——重复测试次数;

$P_{\text{ref}i\text{max}}$ ——光功率计示值最大值, dBm;

$P_{\text{ref}i\text{min}}$ ——光功率计示值最小值, dBm;

C ——极差系数。

C.2.2.4 光功率计非线性引入的不确定度分量:

光功率计非线性为 ± 0.02 dB, 按均匀分布 $k_4 = \sqrt{3}$ 按下式计算标准不确定度:

$$u_2 = \frac{0.02}{\sqrt{3}} = 0.012 \text{ dB} \quad (\text{C.10})$$

C.2.2.5 被校光谱分析仪重复性引入的不确定度分量：

表 C.4 型号为 AE8805 的光谱分析仪测量结果

测量次数	光功率示值 $P_{\text{OSA}} / \text{dB}$
1	-10.03
2	-10.32
3	-9.89
平均值	-10.08

按极差法，测量次数 $n=3$ ，极差系数 $C=1.69$ ，按公式 C.3 计算重复性引入的不确定度分量 u_3 ：

$$u_3 = \frac{P_{\text{OSA}i\text{max}} - P_{\text{OSA}i\text{min}}}{C \times \sqrt{n}} = 0.147 \text{ dB} \quad (\text{C.11})$$

式中：

n ——重复测试次数；

$P_{\text{OSA}i\text{max}}$ ——光谱分析仪功率示值最大值，dB；

$P_{\text{OSA}i\text{min}}$ ——光谱分析仪功率示值最小值，dB；

C ——极差系数。

C.2.3 标准不确定度的合成

C.2.3.1 标准不确定度评定表

表 C.5 标准不确定度来源汇总表

序号	不确定度来源	u_i/dB
1	窄线宽激光器功率稳定性	$u_1 = 0.058 \text{ dB}$
2	光功率计准确度	$u_2 = 0.045 \text{ dB}$
3	光功率计重复性	$u_3 = 0.011 \text{ dB}$
4	光功率计非线性	$u_4 = 0.012 \text{ dB}$
5	被校光谱分析仪重复性	$u_5 = 0.147 \text{ dB}$

C.2.3.2 合成标准不确定度为：

按计算公式，合成标准不确定度为：

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2 + u_5^2} = 0.165 \text{ dB} \quad (\text{C.12})$$

C.2.4 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，则

$$U = k \times u_c = 0.33 \text{ dB} \quad (\text{C.13})$$

可得到光功率示值在包含因子 $k=2$ 时，扩展不确定度 0.33 dB。
