



中华人民共和国工业和信息化部

电子计量技术规范

JJF(电子) XXXX—XXXX

偏振依赖损耗模拟器校准规范

Calibration Specification of Polarization Dependent Loss

Emulator

××××-××-××发布

××××-××-××实施

中华人民共和国工业和信息化部发布

偏振依赖损耗模拟器校准 规范

Calibration Specification of Polarization
Dependent Loss Emulator

JJF(电子) XXXX—XXXX

归 口 单 位：中国电子技术标准化研究院

主要起草单位：工业和信息化部电子第五研究所

参加起草单位：广州赛宝计量检测中心服务有限公司

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：

苏阳（工业和信息化部电子第五研究所）

郑琳琳（工业和信息化部电子第五研究所）

李胜海（工业和信息化部电子第五研究所）

参加起草人：

彭益炜（广州赛宝计量检测中心服务有限公司）

杨斌（广州赛宝计量检测中心服务有限公司）

辛奕（广州赛宝计量检测中心服务有限公司）

目 录

目 录	1
1 范围	1
2 引用文献	1
3 术语和计量单位	1
3.1 偏振依赖损耗	1
3.2 偏振模色散	1
4 概述	1
5 计量特性	2
6 校准条件	2
6.1 环境条件	2
6.2 测量标准及其他设备	2
7 校准项目和校准方法	3
7.1 校准项目	3
7.2 外观与工作正常性检查	4
7.3 插入损耗	4
7.4 偏振依赖损耗示值误差	5
7.5 剩余偏振模色散的校准	5
7.6 回波损耗的校准	6
8 校准结果表达	7
9 复校时间间隔	7
附录 A	8
附录 B	10
附录 C	11

引言

本规范依据 JJF1071-2010《国家计量校准规范编写规则》和 JJF1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》编写。

本规范参照了《Telcordia GR-1209-CORE Issue4 2010》无源光学器件的通用要求 4.7 节关于偏振依赖损耗测量的相关条款。

本规范为首次发布。

偏振依赖损耗模拟器校准规范

1 范围

本规范适用于偏振依赖损耗模拟器的计量校准。

2 引用文献

本校准方法引用下列文件：

Telcordia GR-1209-CORE Issue4 2010 无源光学器件的通用要求；

YD/T 1065.1-2014 单模光纤偏振模色散的试验方法；

JJF 1199-2008 通信用光衰减器校准规范。

注：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 术语和计量单位

3.1 偏振依赖损耗 Polarization Dependent Loss

偏振依赖损耗(单位 dB，以下简称 PDL)是指光器件或者系统在所有可能的偏振状态下其损耗变化的最大值。一个系统的 PDL 是这个系统各组成部分的矢量和。PDL 计算如下式：

$$PDL_{dB}=10\log\left(\frac{P_{\max}}{P_{\min}}\right)$$

式中： P_{\max} 是指所有偏振状态下输出光功率的最大值，mW；

P_{\min} 是指所有偏振状态下输出光功率的最小值，mW。

[Telcordia GR-1209-CORE Issue4 2010 无源光学器件的通用要求 4.7]

3.2 偏振模色散 Polarization Mode Dispersion

偏振模色散（单位 ps，以下简称 PMD）是指光在传输过程中，由于光波基模的两个正交偏振模的群速度不同而导致的脉冲展宽。

[YDT 1065.1-2014 单模光纤偏振模色散的试验方法 3.1]

4 概述

偏振依赖损耗模拟器可以在一定范围内产生固定的偏振依赖损耗值，它主要用于相干高速光收发模块的 PDL 容忍度测试、相干探测器 PDL 抑制算法中的 PDL 跟踪速度和响应时间测试，在相干高速光模块生产和研发过程中有着重要的作用。

5 计量特性

5.1 插入损耗

插入损耗: $\leq 3\text{dB}$ 。

5.2 偏振依赖损耗

波长范围: $(1260\sim 1630)\text{nm}$

标称范围: $(0.1\sim 20)\text{dB}$,

最大允许误差: $\pm(1\% \times \text{PDL}_{\text{设定值}} + 0.1\text{dB})$ 。

5.3 剩余偏振模色散

剩余偏振模色散: $\leq 0.1\text{ps}$ 。

5.4 回波损耗

回波损耗: $> 50\text{dB}$ 。

注: 以上指标不用于合格性判断, 仅供参考。

6 校准条件

6.1 环境条件

6.1.1 环境温度: $(23\pm 5)^{\circ}\text{C}$

6.1.2 相对湿度: $20\% \sim 80\%$

6.1.3 供电电压: $(220\pm 22)\text{V}$ 或 $(110\pm 11)\text{V}$, $(50\pm 2)\text{Hz}$

6.1.4 周围无影响正常工作的机械振动和电磁干扰。

6.2 测量标准及其他设备

测量用标准设备应经计量检定合格或校准, 并在有效期内。标准设备的测量范围应覆盖被校准的偏振依赖损耗模拟器, 并有足够高的准确度和稳定性。根据所采用的校准方法, 选择以下可以满足校准要求的校准设备。

6.2.1 稳定激光光源

中心波长: $(1310\pm 20)\text{nm}$, $(1550\pm 20)\text{nm}$;

输出功率: $\geq 0\text{dBm}$;

输出稳定度: 15 分钟稳定度优于 $\pm 0.025\text{dB}$ 。

6.2.2 光功率计

工作波长: $(1260\sim 1630)\text{nm}$;

测量范围: $(-60\sim 3)\text{dBm}$;

非线性度: $\pm 0.04\text{dB}$;

具备 min/max 测量功能。

6.2.3 光回损测试仪

工作波长: $(1310 \pm 20)\text{nm}$, $(1550 \pm 20)\text{nm}$;

测量范围: $(0 \sim 65)\text{dB}$;

最大允许误差: $\pm 1\text{dB}$;

标准光纤: 接头类型 APC/PC。

6.2.4 偏振模色散测试仪

工作波长范围: $(1260 \sim 1630)\text{nm}$;

偏振模色散测量范围: $(0.001 \sim 10)\text{ps}$;

最大允许误差: $\pm 5\%$;

6.2.5 偏振控制器

工作波长范围: $(1260 \sim 1630)\text{nm}$;

插入损耗: $\leq 2\text{dB}$;

具备扰偏功能。

6.2.6 可调谐激光源

输出波长范围: $(1260 \sim 1630)\text{nm}$;

最大输出功率: $\geq 0\text{dBm}$;

功率稳定度: 15 分钟稳定度优于 $\pm 0.025\text{dB}$ 。

7 校准项目和校准方法

7.1 校准项目

偏振依赖损耗模拟器校准项目见表 1。

表 1 偏振依赖损耗模拟器校准项目一览表

序号	项目名称
1	外观及工作正常性检查
2	插入损耗
3	偏振依赖损耗示值误差
4	剩余偏振模色散
5	回波损耗
注: 剩余偏振模色散和回波损耗可根据客户要求选做或删减。	

7.2 外观与工作正常性检查

7.2.1 外观检查

仪器名称、型号、制造商、出厂编号、输出输入标志信息齐全，光纤接头、开关、按键、拨盘功能正常，无松动、损伤、脱落。

7.2.2 工作正常性检查

通电后，开关、按键、显示屏和各种状态指示灯（标志）应工作正常。

7.2.3 预热

进行校准前，被校仪器及校准用设备应按照设备使用说明书中的规定进行充分预热。

7.2.4 校准准备

光纤接头应保证其端面清洁，测量标准和被测仪器应置于平稳的测试台面。测试用光纤在校准过程中应固定，以防止光纤摆动造成的光功率波动。

7.3 插入损耗

7.3.1 按图 1 虚线连接仪器，将稳定光源、光功率计和被校偏振依赖损耗模拟器波长设为待测波长。

7.3.2 将标准器光源和光功率计用光纤跳线通过法兰盘相连，打开稳定光源，设置光功率计的单位为 dB，将光功率计的读值设为参考值，此时光功率计读值为 0dB。

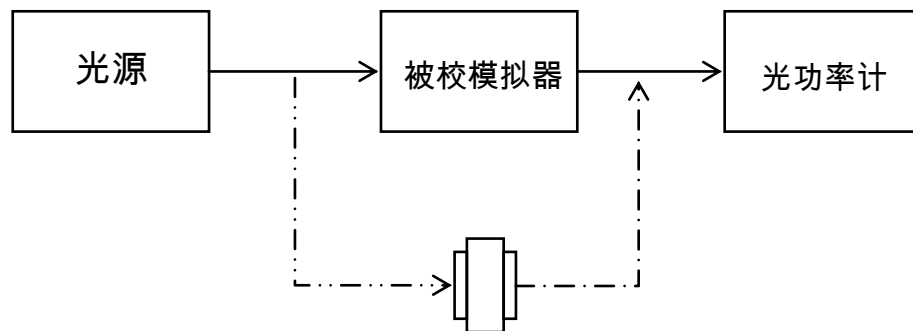


图 1 插入损耗的校准示意图

7.3.3 取下法兰盘，按图 1 实线连接仪器，设定被校偏振依赖损耗模拟器的示值为 0dB 或最小 PDL 设定值，读取此时光功率计示值，并记录。重复以上步骤 3 次，得到光功率计测量结果 L_1 、 L_2 和 L_3 。

7.3.4 插入损耗值按下式计算：

$$L = -\left(\frac{L_1 + L_2 + L_3}{3}\right) \quad (1)$$

7.4 偏振依赖损耗示值误差

7.4.1 在测量 PDL 示值误差前，应测量光源、偏振控制器、光功率计和光纤组成的测量装置的 PDL 值，测量装置的 PDL 值应优于被校 PDL 模拟器最大允许误差一倍以上。

7.4.2 将激光光源、偏振控制器、PDL 模拟器和光功率计波长设为待测波长。

7.4.3 按选取校准点设置被校偏振依赖损耗模拟器示值，并记录此时示值为 I_a ，校准点选取应在被校仪器示值范围内均匀取点 3 个以上，所取点应包含仪器的上下限。

7.4.4 按图 2 所示连接，打开激光光源，将标准光功率计设置为 min/max 测试模式，单位为 dBm，并重置测量，使此时光功率波动 $\Delta P=0\text{dB}$ ，光功率计平均时间应不大于 100ms，启动偏振控制器进行偏振态扫描，观察光功率计的量值，待光功率计 P_{\max} 与 P_{\min} 读值稳定后，记录 P_{\max} 、 P_{\min} 。

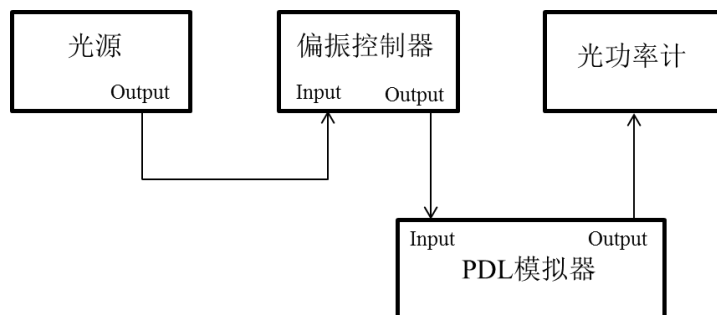


图 2 PDL 示值误差校准示意图

7.4.5 偏振依赖损耗模拟器示值误差按下式计算：

$$I_b = P_{\max} - P_{\min} \quad (2)$$

$$\Delta I = I_a - I_b \quad (3)$$

式中： ΔI ---被校偏振依赖损耗模拟器示值误差；

I_b ---偏振依赖损耗标准值；

I_a ---被校偏振依赖损耗模拟器示值；

P_{\max} 、 P_{\min} ---标准光功率计记录的光功率最大值和最小值。

7.5 剩余偏振模色散

7.5.1 按图 3 连接仪器，按要求设置 PDL 模拟器的波长，并将其示值设为 0dB 或最小 PDL 设定值。

7.5.2 参照 PMD 测试仪的使用说明，测量 PDL 模拟器示值为 0dB 或最小示值时的偏振模色散。

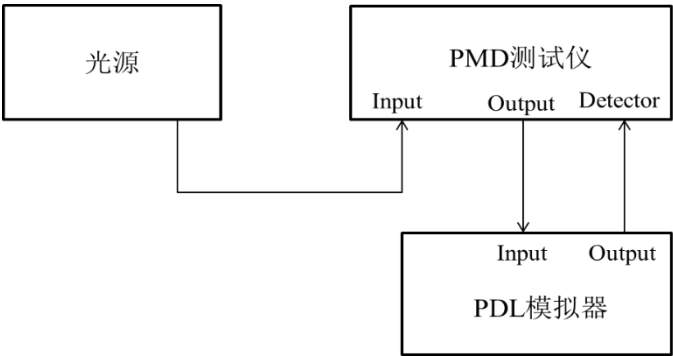


图 3 剩余偏振模色散的校准示意图

7.5.3 重复 7.5.1，7.5.2 步骤 3 次，得到测量结果 P_1 、 P_2 和 P_3 。剩余偏振模色散测量结果按下式计算：

$$P = \frac{P_1 + P_2 + P_3}{3} \quad (4)$$

7.6 回波损耗

7.6.1 将 PDL 模拟器和光回损测试仪设置为待测波长。

7.6.2 将光回损测试仪进行参考、截止校准。使用标准光纤做参考校准时，回波损耗值应为 $(14.8 \pm 0.2)\text{dB}$ ；使用光纤缠绕的方式进行截止校准时，回损应大于 60dB。

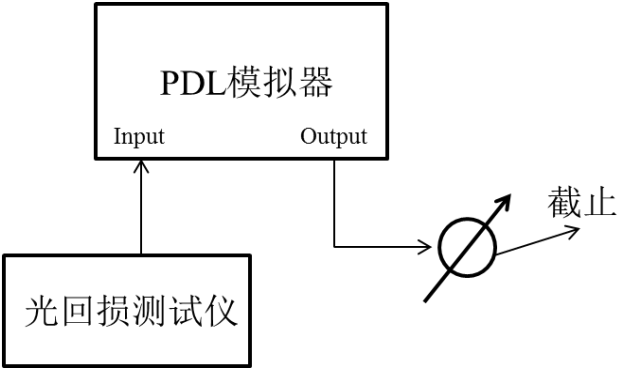


图 4 回波损耗的校准示意图

7.6.3 如图 4 所示用光纤连接光回损测试仪和 PDL 模拟器，并将 PDL 模拟器设为 0dB 或最小设定值，打开光回损测试仪的光源开关。

7.6.4 用缠绕棒在 PDL 模拟器输出光纤的末端做截止。

7.6.5 光回损测试仪测量此时的光回波损耗值。

7.6.6 重复 7.6.1~7.6.5 步骤 3 次，得到测量结果 R_1 、 R_2 和 R_3 。回波损耗按下式计算：

$$R = \frac{R_1 + R_2 + R_3}{3} \quad (5)$$

8 校准结果表达

校准后，出具校准证书。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；
- 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说明；
- 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

建议复校时间间隔为 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。

经修理或调整的，应校准后使用。

附录 A

原始记录格式

A.1 外观及工作正常性检查

表 A.1 外观及工作正常性检查

项目	检查结果
外观检查	
工作正常性检查	

A.2 插入损耗

表 A.2 插入损耗

波长(nm)	次数	插入损耗(dB)
	1	
	2	
	3	
平均值 $L_{avg}(dB)$:		
测量不确定度(dB, $k=2$):		

A.3 偏振依赖损耗示值误差

表 A.3 偏振依赖损耗模拟器示值误差

波长(nm):					
指示值(dB)	$P_{max}(dB)$	$P_{min}(dB)$	标准值(dB)= $P_{max} - P_{min}$	示值误差 (dB)	测量不确定 度(dB, $k=2$)

A.4 剩余偏振模色散

表 A.4 剩余偏振模色散

波长(nm)	次数	剩余偏振模色散(ps)
	1	
	2	
	3	
平均值 P_{avg} (ps):		
测量不确定度(ps, $k=2$):		

A.5 回波损耗

表 A.5 回波损耗

波长(nm)	次数	回波损耗(dB)
	1	
	2	
	3	
平均值 R_{avg} (dB):		
测量不确定度(dB, $k=2$):		

附录 B

校准证书内页格式

B.1 外观及工作正常性检查

表 B.1 外观及工作正常性检查

项目	检查结果
外观检查	
工作正常性检查	

B.2 插入损耗

表 B.2 插入损耗

波长(nm)	标准值(dB)	测量不确定度 (dB,k=2)

B.3 偏振依赖损耗示值误差

表 B.3 偏振依赖损耗示值误差

指示值(dB)	标准值(dB)	示值误差(dB)	测量不确定度 (dB,k=2)

B.4 剩余偏振模色散

表 B.4 剩余偏振模色散

波长(nm)	标准值(ps)	测量不确定度(ps,k=2)

B.5 回波损耗

表 B.5 回波损耗

波长(nm)	标准值(dB)	测量不确定度(dB,k=2)

附录 C

C.1 插入损耗不确定度评定

C.1.1 测量方法

参照偏振依赖损耗模拟器校准规范，使用稳定光源和光功率计测量被校偏振依赖损耗模拟器的插入损耗。

C.1.2 测量模型

建立测量模型：

$$IL = IL_{\text{std}}$$

其中： IL ——被校偏振依赖损耗模拟器的插入损耗；

IL_{std} ——光功率计测量的标准值；

C.1.3 传播系数

$$u^2(IL) = c_1^2 u^2(IL_{\text{std}})$$

灵敏系数为：

$$c_1 = \frac{\partial IL}{\partial IL_{\text{std}}} = 1$$

C.1.4 计算标准不确定度

此项不确定度主要来源有输出光源的短期稳定度引入的不确定度 u_1 、光功率计非线性引入的不确定度 u_2 ，测量重复性引进的不确定度 u_3 ，分辨力引入的标准不确定度分量 u_4 。

C.1.4.1 光源短期稳定性引入的不确定度分量 u_1

稳定光源的短期稳定度为 0.003dB，设为均匀分布，设为 B 类，则：

$$u_1 = \frac{0.003}{\sqrt{3}} = 0.0017\text{dB}$$

C.1.4.2 标准光功率计非线性引入的标准不确定度分量 u_2

由标准光功率计的说明书可知，其光功率非线性为 $\pm 0.02\text{dB}$ ，按均匀分布，B 类评定，则

$$u_2 = \frac{0.02}{\sqrt{3}} = 0.012\text{dB}$$

C.1.4.3 重复性引入的标准不确定度分量 u_3

采用 A 类方法评定，1550nm 波长下，偏振依赖损耗模拟器设定为最小，设置好光源、光功率计重复测量 10 次，测量值如下：

插入损耗重复性测量结果	
测量值(dB) 次数	$\lambda=1550\text{nm}$
1	2.18
2	2.21
3	2.29
4	2.28
5	2.28
6	2.22
7	2.23
8	2.24
9	2.26
10	2.23
$\overline{IL} = \frac{\sum_{i=1}^n IL_i}{n}$	2.236
$s(IL) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (IL_i - \overline{IL})^2}{(n-1)}}$	0.022

每个测量点测量 3 次，按 A 类不确定度评定，则：

$$u_3 = \frac{s(IL)}{\sqrt{3}} = 0.013 \text{ dB}$$

C.1.4.4 光功率计分辨力引入的标准不确定度分量 u_4

常用光功率计的显示分辨力一般为 0.01dB，此项服从均匀分布，因此

$$u_4 = \frac{0.01}{2\sqrt{3}} = 0.0029 \text{ dB}$$

C.1.4.5 由于重复性和分辨力引入的不确定度一般不重复计算,取二者较大值,因此本次不考虑分辨率引入的不确定度。

C.1.5 标准不确定度一览表(见表 2):

C.1.6 合成标准不确定度

由于 u_1 、 u_2 和 u_3 互不相关,

$$u_c(IL) = c_1 u(IL_{\text{std}}) = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2} = 0.018\text{dB}。$$

C.1.7 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$,扩展不确定度

$$U = k \times u_c = 0.04\text{dB}$$

表 2 标准不确定度一览表

标准不确定度分量 u	不确定度来源	标准不确定度值(dB)	$c_i = \frac{\partial f}{\partial X_i}$	$u(y) = c_i u(X_i)$ (dB)
u_1	光源短期稳定性	0.0017	1	0.0017
u_2	标准光功率计非线性	0.012	1	0.012
u_3	重复性	0.013	1	0.013
u_4	分辨力	0.0029	1	0.0029
合成标准不确定度: $u_c=0.018\text{dB}$ 取包含因子 $k=2$,扩展不确定度: $U = k \times u_c = 0.04\text{dB}$				

C.2 偏振依赖损耗的不确定度评定

C.2.1 测量方法

将标准光功率计、偏振控制器、光源和被检偏振依赖损耗模拟器开机充分预热后,根据偏振依赖损耗模拟器校准规范中示值误差测量方法,调节光源、偏振依赖损耗模拟器及光功率计波长一致,打开光源,将标准光功率计设置为 min/max 模式,启动扫

描直至偏振态基本覆盖整个邦加球，用标准光功率计测量功率最大变化即为所测偏振依赖损耗。

C.2.2 测量模型

建立测量模型：

$$\Delta PDL = PDL - PDL_{\text{std}}$$

其中： ΔPDL ——偏振依赖损耗测量误差；

PDL_{std} ——标准光功率计测量的偏振依赖损耗；

PDL ——偏振依赖损耗模拟器示值。

C.2.3 方差和传播系数

假设各分量独立，有

$$u^2(\Delta PDL) = c_1^2 u^2(PDL) + c_2^2 u^2(PDL_{\text{std}})$$

灵敏系数为：

$$c_1 = \frac{\partial \Delta PDL}{\partial PDL} = 1$$

$$c_2 = \frac{\partial \Delta PDL}{\partial PDL_{\text{std}}} = -1$$

C.2.4 计算各分量的标准不确定度

此项不确定度主要来源有输出光源的短期稳定度引入的不确定度 u_1 、光功率计非线性引入的不确定度 u_2 ，测量系统本身的 PDL 引入的不确定度 u_3 ，方法不完善引入的不确定度 u_4 ，测量重复性引进的不确定度 u_5 。

C.2.4.1 光源短期稳定性引入的不确定度分量 u_1

稳定光源其短期稳定度为 0.003dB(指标来源于说明书)，设为均匀分布，设为 B 类，则：

$$u_1 = \frac{0.003}{\sqrt{3}} \text{dB} = 0.0017 \text{dB}$$

C.2.4.2 标准光功率计非线性引入的标准不确定度分量 u_2

由标准光功率计的说明书可知，其光功率非线性为 $\pm 0.02 \text{dB}$ ，按均匀分布，B 类评定，则

$$u_2 = \frac{0.02}{\sqrt{3}} = 0.012\text{dB}$$

C.2.4.3 测量系统自身的 PDL 引入的不确定度分量 u_3

由于测量标准 PDL 时，用光功率计测量的最终结果包含两部分，一部分是由光纤连接线、偏振控制器、标准光功率计等测量设备自身的 PDL，另一部分是被校 PDL 模拟器产生的 PDL，这些标准器自身产生的 PDL 并不能直接加减进行消除。根据 PDL 定义可知 PDL 是整个系统 PDL 的矢量和，其结果关系为：

$$PDL_{\text{std}} = PDL_{\text{system}} + PDL_{\text{DUT}}$$

其中： PDL_{std} ——偏振依赖损耗测量结果；

PDL_{system} ——测量系统的偏振依赖损耗；

PDL_{DUT} ——偏振依赖损耗模拟器的偏振依赖损耗。

所以，当系统产生的 PDL_{system} 与被校偏振依赖损耗模拟器产生的 PDL_{DUT} 方向一致时，可以得到最大的 PDL，反之得到最小的 PDL。在实际测量过程中我们无法确定系统产生的 PDL 与被校偏振依赖模拟器产生的 PDL 方向的关系，但测量结果总是在 $(PDL_{\text{DUT}} - PDL_{\text{system}}, PDL_{\text{DUT}} + PDL_{\text{system}})$ 这个范围内。在测量之前先测量出系统的 PDL 值，测量 10 次，如下

1550nm PDL (dBm)	1	2	3	4	5
	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03
	6	7	8	9	10
	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
\overline{PDL} (dB)	0.021				

取平均值最为 PDL_{system} 的结果，假设其为均匀分布，B 类评定，则测量系统自身的 PDL 引入的不确定度分量为：

$$u_3 = \frac{0.021}{\sqrt{3}} \text{dB} = 0.012\text{dB}$$

C.2.4.4 测量方法不完善引入的不确定度分量 u_4

使用扫描法测量 PDL 值时，测量时间是有限的，偏振依赖损耗模拟器只能暴露在有限的偏振状态下进行测量，所以最终测试结果与真实值之间存在一定的系统误差。根据经验可知这个系统误差 ε 取决于偏振控制器扫描时间和光功率计的平均时间，关

系如下：

$$\varepsilon = \frac{\pi \Delta t}{2T_{total}}$$

其中： T_{total} ——扫描时间；

ε ——系统误差估计值；

Δt ——光功率计平均时间。

测量系统所能达到的最小系统误差 ε_{\min} 与光功率计的平均时间和偏振控制器的扫描速度决定，关系如下：

$$\varepsilon_{\min} = \frac{(\nu \Delta t)^2}{4\pi}$$

其中： ε_{\min} ——最小系统误差估计值；

Δt ——光功率计平均时间；

ν ——偏振控制器扰偏速度。

偏振控制器扫描速度为 $2\pi/\text{s}$ ，光功率计平均时间为 50ms ，扫描时间控制在 2min ，则测量方法引入的系统误差为 0.79% ，则测量方法不完善引入的不确定度为：

$$u_4 = 0.79\% \times PDL_{\text{std}}$$

C.2.4.5 重复性引入的不确定度分量 u_5

设置 PDL 模拟器输出分别为 3dB 、 6dB 、 9dB 、 12dB ，分别进行 10 次重复测量，测量值如下（表 1）：

表 1. 偏振依赖损耗重复性测量结果

测量点 测量值(dB) 次数	3dB	6dB	9dB	12dB
1	3.11	6.11	9.15	12.11
2	3.14	6.14	9.14	12.14
3	3.12	6.17	9.12	12.11
4	3.12	6.15	9.03	12.14
5	3.14	6.11	9.14	12.10

6	3.08	6.10	9.14	12.13
7	3.09	6.12	9.12	12.16
8	3.11	6.12	9.12	12.16
9	3.14	6.14	9.14	12.14
10	3.05	6.14	9.14	12.14
$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (PDL_i - \overline{PDL})^2}{(n-1)}}$	0.029	0.022	0.035	0.021

则重复性引入的 A 类不确定度:

$$u_5 = \frac{0.029}{3} \times 100\% = 1.0\%$$

C.2.5 标准不确定度一览表(见表 3)

C.2.6 合成标准不确定度

由于各分量之间互不相关, 则

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2 + u_5^2} \leq \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2} + \sqrt{u_4^2 + u_5^2}$$

$$= 0.017\text{dB} + 1.27\% \times PDL_{\text{std}}$$

C.2.7 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$, 则扩展不确定度:

$$U = k \times u_c = 2 \times (0.017 + 1.27\% \times PDL_{\text{std}}) = 0.034\text{dB} + 2.54\% \times PDL_{\text{std}} \circ$$

表 3 PDL 测量不确定度来源表

标准不确定度分量	不确定度来源	标准不确定度值 (dB)	$c_i = \partial f / \partial X_i$	$u(Y) = c_i u(X_i)$ (dB)
u_1	光源短期稳定度	0.0017	1	0.0017
u_2	光功率计非线性	0.012	1	0.012
u_3	测量系统自身的 PDL	0.012	1	0.012
u_4	方法不完善	$0.79\% \times PDL_{\text{std}}$	1	$0.79\% \times PDL_{\text{std}}$
u_5	重复性	$1.0\% \times PDL_{\text{std}}$	1	$1.0\% \times PDL_{\text{std}}$

合成不确定度,

$$u_c = 0.017\text{dB} + 1.27\% \times PDL_{\text{std}}$$

取包含因子 $k=2$, 则扩展不确定度

$$U = k \times u_c = 0.034\text{dB} + 2.54\% \times PDL_{\text{std}}$$