

影响偏振相关损耗(PDL)测量的重要因素

偏振相关损耗(PDL)的测量对测量系统中的扰动极其敏感,这些扰动包括光源的不稳定性,连接器的反射,甚至是测试光纤的布局。如果测试装置布置不合理,即使采用高精度的测量设备也可能会出现较大的测量误差或波动。该说明书描述了精确测量PDL的通常注意事项,以及减少使用General Photonics公司PDL测试仪(PDL-101)测量误差的方法。

PDL的定义为

$$PDL = 10 \log \frac{P_{\max}}{P_{\min}} \quad (1)$$

其中 P_{\max} 和 P_{\min} 分别为当被测器件(DUT)输入光的偏振态在所有可能的偏振态间扫描时,通过DUT的最大和最小输出功率,如图1所示。

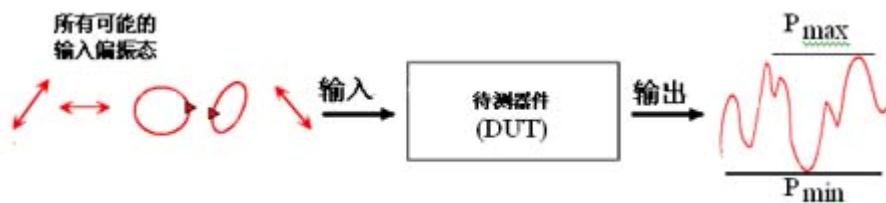


图 1. PDL 的定义

在测量中可能会引入一些可能的误差和不确定性,这包括:

1. 由光源波动产生的误差

公式(1)表明,如果光源的功率随时间变化,测量得到的功率最大和最小值也会随之变化,从而导致测量的不准确。因此,用于PDL测量的光源必须具有很高的稳定性。

即使光源本身非常稳定,测量系统中不同位置的微弱反射可能会反馈回激光器,干扰激光器的工作并导致输出的不稳定。因此,即使光源的输出端可能已经有了隔离器,我们仍强烈建议在PDL测量仪器的输入端加上隔离器,以减少反射。另外,为了减少连接器的反射,在光源与PDL测试仪之间的所有连接器都应该使用APC接头。

2. 由二次反射产生的误差

在测量装置中使用的某些器件可能存在微弱的反射,这些器件包括连接器和DUT。如图2所示,由一个器件产生的反射光可能会被另外的器件再次反射。二次反射光与主体输入光的传播方向一致,因此会与其发生干涉。总输出光功率为:

$$P = P_{in} + P_{dr} + 2\sqrt{P_{in}P_{dr}}\hat{e}_{in} \cdot \hat{e}_{dr} \cos \phi \quad (2)$$

其中 P_{in} 和 P_{dr} 分别是主光束和二次反射光束的功率， e_{in} 和 e_{dr} 是主光束和二次反射光束的偏振态的单位复矢量， Φ 是它们之间的相位差。

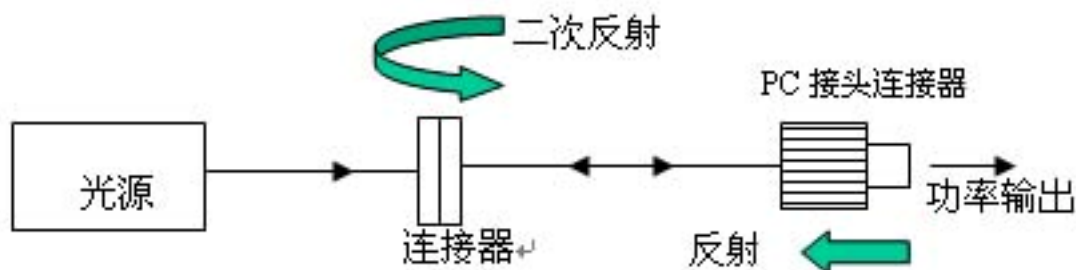


图 2. 二次反射

因为当光纤受到扰动时，主光束与二次反射光的相对相位和偏振态都会发生改变，它们之间的干涉会引起总输出功率的变化。以 dB 为单位，由公式 (2) 可以得到的相对变化的量级为：

$$\Delta = 10 \log \left[\frac{2\sqrt{P_{in}P_{dr}}}{(P_{in} + P_{dr})} \right] \approx 10 \log \left(2\sqrt{P_{dr}/P_{in}} \right) \quad (3)$$

虽然二次反射光的很弱，但由于会与强光信号(输入光)发生干涉，它的影响不容忽视。例如，如果一束光先被一个自由端的 PC 接头反射（典型的反射率为 4%），然后再被一对 PC 接头（回波损耗为 40dB，反射率为 0.01%）反射，探测到的功率波动可达 0.017dB。这个功率波动会引起 PDL 测量波动 0.017dB。当待测器件具有相似的 PDL 值时，该数值是不能够被忽略的。如果在前面那个例子中使用回波损耗为 60dB 的 APC 接头代替 PC 接头，PDL 测量结果的波动将减少到 0.0017dB，这个数值在大多数情况是可以被忽略的。

为了减小二次反射带来的影响，如果可能的话，应尽量使用反射较小的 APC 接头。或者也可以使用短相干长度的光源（相干长度小于主光束与二次反射光的光程差）。这样，公式(2)描述的干涉现象就不会发生，从而，公式(3)描述的干涉波动不会发生。

3. 由接头和光纤产生的误差

除了 DUT 之外，在 PDL 测量中使用的光纤和（或）接头也会有很小的 PDL。例如，光纤本身会有 0.01dB 量级的 PDL，而且当光纤弯曲的曲率半径很小时，这个值还会增加。连接的光纤跳线也有较小的 PDL，量级为 0.01- 0.02 dB。连接不佳的光纤跳线会有更高的 PDL 值，这可能是在连接过程中过度挤压光纤造成的。APC 接头一般会有很高的 PDL，尤其是在没有与另外的 APC 接头配对使用时。因此，在测试过程中，一条带接头的跳线很可能对 DUT 的 PDL 测量产生 0.02dB 或更高的误差。

4. PDL 矢量和引起的波动

PDL 可以被看成是一个三维空间里的矢量，因为公式 1 中的 P_{max} 和 P_{min} 相当于输入光的两个正交偏振态，这可以描绘在邦加球上。因此，当测量装置中有两个或更多器件的 PDL

不为 0 时，总的 PDL 为所有器件 PDL 的矢量叠加。举例说明，图 3 所示的光路中，测量得到的总 PDL 是 A、B、C、D 四个光纤接头和 DUT 的 PDL 的矢量之和（为了简化器件，假设光纤的 PDL 为零）：

$$PDL_{\Gamma} \hat{e}_{\Gamma} = PDL_a \hat{e}_a + PDL_b \hat{e}_b + PDL_c \hat{e}_c + PDL_d \hat{e}_d + PDL_{DUT} \hat{e}_{DUT} \quad (4)$$

其中，PDL_T 和 e_T 是总 PDL 的值和复单位矢量；PDL_a, PDL_b, PDL_c, PDL_d, PDL_{DUT} 分别是 A、B、C、D 接头和待测器件的 PDL；e_a, e_b, e_c, e_d, e_{DUT} 分别为这些 PDL 的单位复矢量。图 4 用图示了 PDL 矢量是如何叠加的。如果所有的矢量都是平行的就会得到最大的 PDL：

$$PDL_{\Gamma_{\max}} = PDL_a + PDL_b + PDL_c + PDL_d + PDL_{DUT} \quad (5)$$

如果所有接头的 PDL 向量都平行，并与待测器件的 PDL 向量方向相反，就会得到最小 PDL，在此假设待测器件的 PDL 值大于所有接头 PDL 值之和：

$$PDL_{\Gamma_{\min}} = PDL_{DUT} - (PDL_a + PDL_b + PDL_c + PDL_d) \quad (6)$$

每一个器件 PDL 矢量的方向与器件的取向和光纤中的应力致双折射有关。当两个器件间的光纤被扰动，PDL 矢量的相对方向也随之发生改变，从而导致测量值的变化。因此，PDL 测量值的最大改变量为：

$$\Delta PDL_{\Gamma} = PDL_{\Gamma_{\max}} - PDL_{\Gamma_{\min}} = 2(PDL_a + PDL_b + PDL_c + PDL_d) \quad (7)$$

如果待测器件的 PDL 远大于连接头的 PDL，相对测量误差就比较小。如果待测器件的 PDL 与连接头的 PDL 大体相当，就会产生很大的相对误差。因此，为了得到 PDL 较小的待测器件（如熔融拉锥耦合器）的精确特性描述，连接头和与待测器件相连的光纤的 PDL 必须非常小。通常，限制测量精度的因素往往不是仪器本身，而是连接头和与待测器件相连的光纤的残余 PDL。

表 1 常用光学器件的 PDL 值

器件	PDL 典型值
1m 单模光纤	<0.02 dB
10 km 单模光纤	<0.05 dB
PC 接头	0.005 ~ 0.02 dB
APC 接头	0.02 ~ 0.06 dB
50% 熔融拉锥耦合器, 单窗口	0.1 ~ 0.2 dB
50% 熔融拉锥耦合器, 双窗口	0.15 ~ 0.3 dB
90:10 熔融拉锥耦合器, 直通臂	0.02 dB
90:10 熔融拉锥耦合器, -10 dB 交叉臂	0.1 dB
隔离器	0.05 ~ 0.3 dB
3 端口环行器	0.1 ~ 0.2 dB
DWDM	0.05 ~ 0.15 dB
起偏器	30 ~ 50 dB

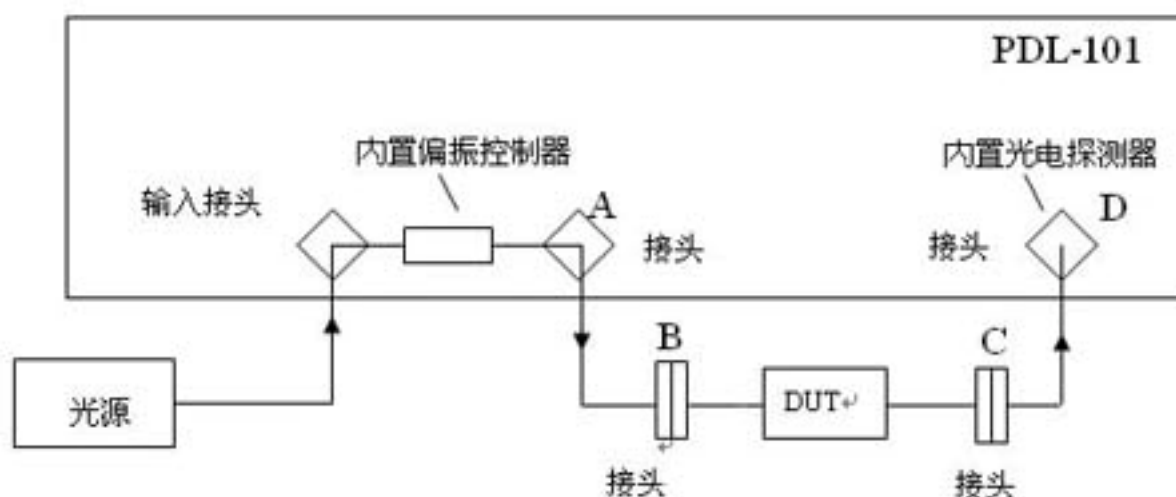


图 3 使用 PDL-101 和 A、B、C、D 四个接头组成的测量装置

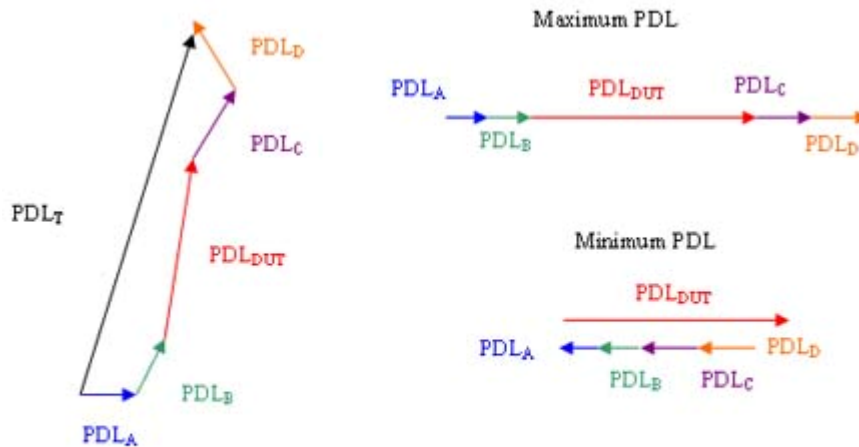


图 4. 接头和待测器件 PDL 矢量叠加示意图。
PDL 测量值在最大值和最小值之间波动，依赖于每个 PDL 矢量的相对取向。

减小 PDL 测量误差的好习惯

在牢记以上描述的 PDL 测量误差来源的同时，这里概括了 PDL 测量一些好的习惯。以 General Photonics 公司 PDL-101 多功能测试仪为例，典型的测量装置如图 5 所示。



1. 用于 PDL 测量的光源必须是高稳定光源，光源的短期稳定性应与预期的 PDL 测量精度大体相当。如果要达到 0.02dB 的 PDL 测量精度，光源短期功率稳定度必须高于 0.02dB。
2. 建议在 PDL-101 的输入端加一个隔离器，用来减少从下游接头和待测器件反射回来的光进入光源。General Photonics 公司的 NoTail 型隔离器没有尾纤，是首选产品。
3. 为了减少反射光进入光源，从而减少由此引起的光源不稳定性，在光源和 PDL-101 之间应该采用 APC 接头。因此，在第二步中描述的 NoTail 型隔离器应该采用 APC 连接。
4. 光源的偏振态要相对稳定。光源偏振态的快速波动将导致测量结果的波动。
5. 光源的波长要相对稳定，由于连接光源与测量仪器的光纤中存在双折射，因而光源波长的快速波动将导致偏振态的快速波动。
6. 应采用 PDL 较小的光纤跳线连接待测器件。
7. 为了减少由二次反射所造成的测量误差，应该使用 APC 接头将光输入到测量仪器和待测

器件。PDL-101 有 APC 穿板式接头（如图 5、图 6 中的输入连接头 和连接头 A）。为了精确测量低 PDL 的待测器件（小于 0.1dB），可以在接头 B 和 C 处使用折射率匹配膏，来减少背向反射和残余 PDL。

8. 为了减少接头 PDL 的影响，应使用 PC 接头将待测器件的输出光引入测量仪器（如图 5、图 6 中的接头 D）。PC 接头的输出光将直接射入测量仪器内部的自由空间光电探测器。

9. 因为弯曲会在光纤中产生不能忽略的 PDL，所以在接头 A 和接头 D 之间的光纤不应该有强烈的弯曲或很紧的缠绕。

10. 对生产平台上的无连接器的带尾纤器件的测量应使用图 6 所示测量装置。在这个光路中，尾纤带 APC 接头的一端与 APC 穿板式接头 A 连接，另外没有接头的自由端留做熔接。操作人员可以将自由端与待测器件输入端熔接起来，将待测器件的输出端用可拆除的裸纤适配器连接到穿板式接头 D。可在 APC 接头 A 处使用折射率匹配膏来减少由此引起的 PDL。

注释：图 5、图 6 中的接头 A 也会产生微小的背景 PDL。因此，无连接器的带尾纤的器件的测量（尤其是低 PDL 器件），可以将此接头换做一段尾纤，从而能够将其与待测器件的输入端熔接（如图 7）。

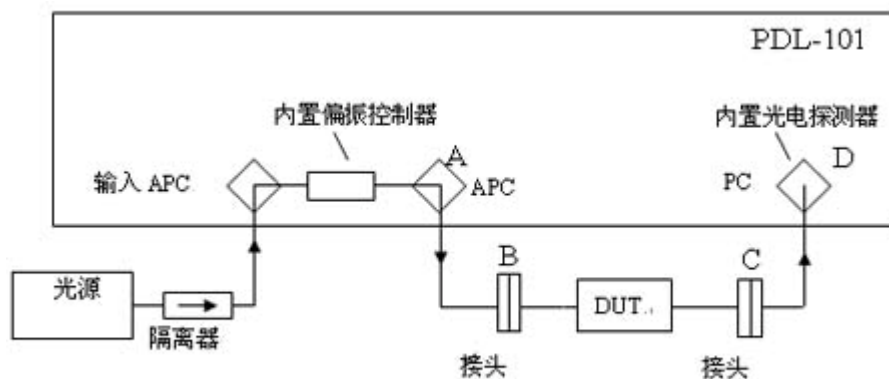


图 5. 使用 PDL-101 测量带接头的待测器件的典型光路图

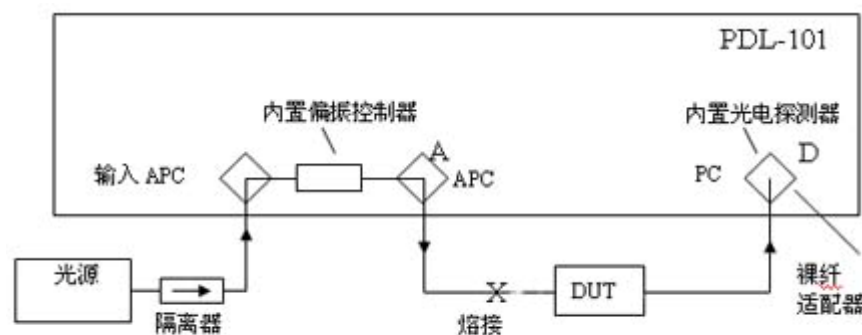


图 6. 在生产平台上测量无接头、带尾纤的待测器件的光路图
DUT 的一端使用熔接机与 APC 跳线的自由端熔接，另一端使用裸纤适配器连接到 PDL-101

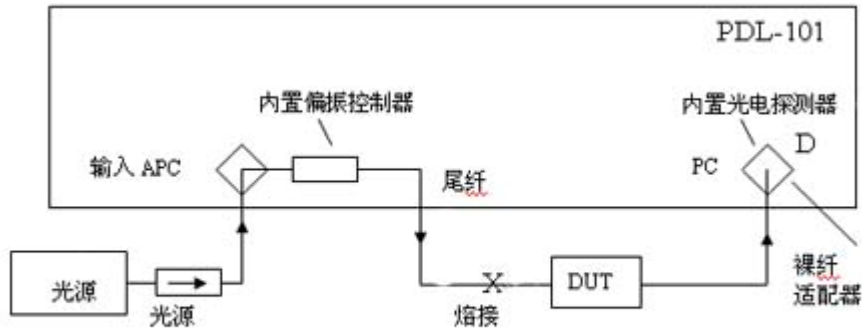


图 7. 在生产平台上测量无接头、带尾纤的待测器件的光路图
DUT 的一端使用熔接机与偏振控制器的自由端熔接，另一端使用裸纤适配器连接到 PDL-101。