

在波分复用系统中测量光信噪比 (OSNR) ——分辨率带宽和光抑制比的影响

Daniel Gariépy, 光业务部门研究员

Gang He, 博士, 光业务部门高级研究员

在最近几年间, 我们已经见证了波分复用 (WDM) 网络的广泛部署。这些系统被配置为允许不同波长的多个通道ⁱ 共享相同的光纤, 从而提升该光纤的有效传输速率。然而, 随着这项新技术的普及, 出现了新的挑战: 无法在多通道系统中直接测量那些提供系统性能直接信息的参数 (例如Q因子或眼图分析之类的误码率(BER)和BER评估技术)。在对每个解复用通道的BER性能进行单独评估之前, 需要先执行光谱信号分离才能得到这些关键参数。另外, 也可根据光谱测量结果获知每个通道的光信噪比 (OSNR), 进而得到有关这些通道及系统性能的间接信息。

尽管根据光谱得到的OSNR不会揭示暂时性缺陷对通道性能的影响ⁱⁱ, 但OSNR可以提供关于BER的间接信息, 这一特性使其成为了可从所测光谱中得到的最有用参数ⁱⁱⁱ, 这也是ITU-T建议标准G.692^[1]和ITU-T建议标准G.959.1^[2]将其列为接口参数的原因。

使用下面的公式^[3] (详见IEC 61280-2-7文档) 可使OSNR与BER直接关联, 该公式可调整执行BER与接收功率的运算时所用的拟合函数:

$$BER(SNR) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{SNR}^{\infty} \exp(-t^2/2) dt$$

公式1: IEC 61280-2-9 文件中的BER和SNR计算公式

若OSNR不佳, 则BER会升高; G.692建议确定给定系统设计 (BER为 1×10^{-12}) 所需的最小OSNR。OSNR是平均功率的低速测量值, 它没有考虑要检测不常发生的误码^{iv}, 并且正如前文所述, 不会揭示暂时性缺陷带来的影响。不过, 将OSNR与BER关联之后, 使得OSNR成为了可从光谱中提取的关键参数, 从而可用于对多通道系统的性能进行初步诊断, 或者用于监测系统并就给定通道可能发生的BER恶化提前发出警告。测量WDM系统中的OSNR是IEC 61280-2-9^[4]文档的主题, 下一节将对此进行概述。

OSNR定义和测量步骤

此IEC标准将光信噪比定义为通道的峰值信号功率与该峰值位置加入的噪声功率的比值, 可用以下公式表述:

$$OSNR = 10 \times \log \frac{P_i}{N_i} + 10 \times \log \frac{B_m}{B_r}$$

公式2: IEC 61280-2-9文件中的OSNR计算公式

其中：

P_i 为第*i*个通道的光信号功率（单位为瓦特）；

B_m 为测量的分辨率带宽；

N_i 为以测量的分辨率带宽 B_m 测得的插入的噪声功率值，该值根据在中心通道分界点处测得的噪声而获得^{vi}；

B_r 为参考光带宽，通常选为0.1 nm；该公式的第二项用于提供与测量时仪器的分辨率带宽（ B_m ）无关的OSNR值，以便将不同测量仪器所得到的结果进行对比^{vii}。

下图形象地描述了可从光谱中获得的相关参数：

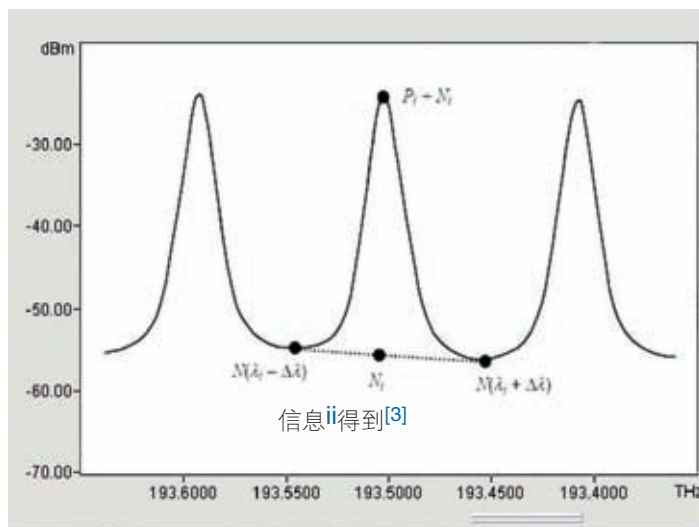


图1：在多通道系统测试OSNR值所需参数的图形描述

此IEC标准还确定了执行合格OSNR测量所需的以下这些关键OSA特性（其中的两个要素将在下文详细介绍）

- OSA的波长测量范围必须足够宽，能够涵盖所有通道并在两端加上二分之一的栅格间距。
- 灵敏度，定义为以指定精度可以测量的最低光谱功率级别，该值必须低于预期的通道最小峰值功率乘以所需的OSNR值（包含余量）^{viii}（请参阅下述光抑制比）才能达到指定的精度。
- 分辨率带宽（RBW）必须足够宽，能够涵盖每个调制通道的完整信号功率谱（这一点将在下文详细介绍），并且必须经过精确校准，因为它会对噪声测量的准确度产生直接影响，而且当噪声功率谱大于RBW时还会对调制信号测量的准确度造成影响。
- 光抑制比^{ix}（ORR），即OSA测量峰值附近的噪声级别的能力，必须远低于要测量的噪声级别（建议在仪器的RBW中包含10 dB的余量^x），以免使测得的噪声增加超过~0.42 dB的仪器串扰。
- 仪器的刻度保真度（即在不同功率级别下正确测量功率的能力）会影响OSNR测量的不确定度，因为峰值功率与噪声级别通常相差15到35 dB。
- 仪器的偏振相关损耗会增大OSNR测量的不确定度，因为信号功率（ P_i ）中包含高偏振度的光。
- 必须有足够数量的数据点（每RBW至少两个）才能对光谱正确采样。

在上面的仪表参数中，我们主要介绍分辨率带宽（RBW）和光抑制比（ORR）的影响。

RBW效应和理想的OSA滤波器光谱响应

RBW是仪器的一项重要指标。不过，仪器制造商通常将半幅值全宽度（FWHM或3 dB宽度）列入说明书中，而并非RBW，因为用户自己就可以方便地测量该FWHM且通常近似程度很高。请注意，FWHM是OSA滤波器对代表理想脉冲函数的极窄线宽激光光源的响应^{xi}。RBW直接关系到仪器的ORR性能，但滤波器波形差异也会对实际ORR性能产生重要影响，因此该直接关系在具有不同滤波配置的仪器之间并不成立。事实上，如果OSA滤波器响应越接近理想滤波器（如下所述），则对于相同的RBW而言ORR性能将更佳。

OSA的RBW必须足够宽，能够涵盖由于数据传输速率而扩展的信号谱的所有功率。下图显示当使用RBW更窄的OSA测量时调制信号是如何被低估的。

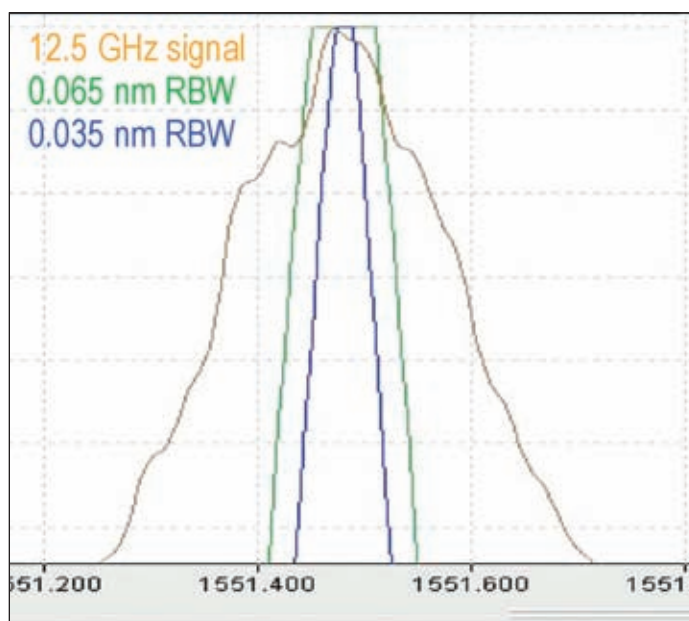


图2：由于信号调制而导致的光谱展宽与光谱仪分辨率带宽的比较

另一方面，OSA的RBW必须保持足够窄，才能在执行噪声测量时正确测量峰值附近的噪声级别。因此，测量OSNR的理想OSA滤波器响应应具有宽度足以涵盖信号、且边沿从峰值最大区域垂直下降至仪器噪声基底的平顶矩形波形。这显然不是典型的物理滤波器波形。

下面两张图片显示了基于商用光栅的OSA^{xii}的不同滤波器波形，对照了使用与仪器的设置分辨率相同的RBW的理想滤波器响应。不同的OSA滤波器设计会导致对同一窄线宽光源的不同光谱响应。

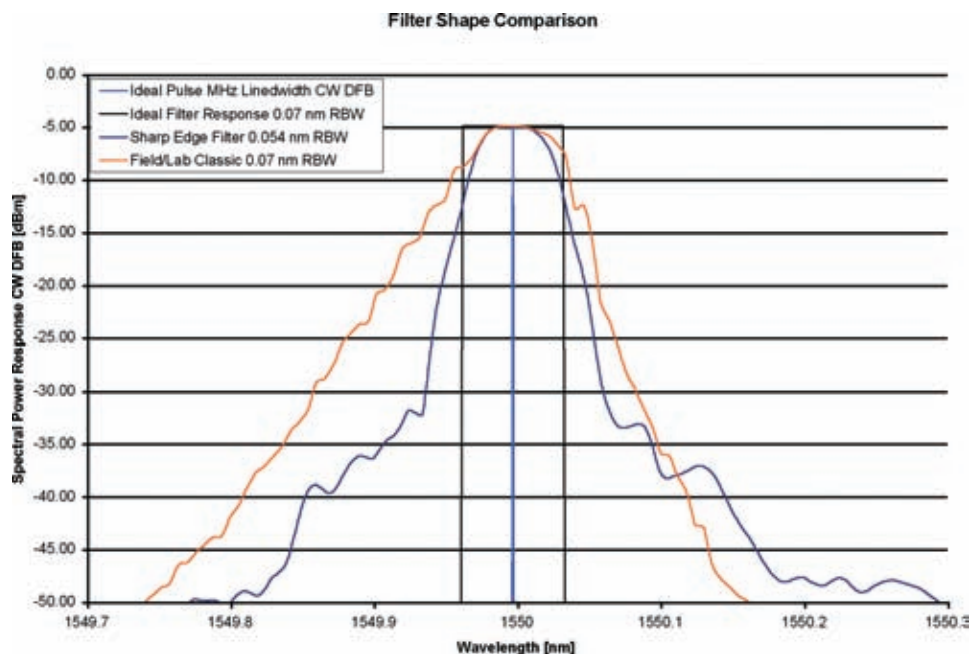


图3: 理想的滤波器响应与常见的分辨率带宽在~0.05–0.07 nm的商用光谱仪响应比较

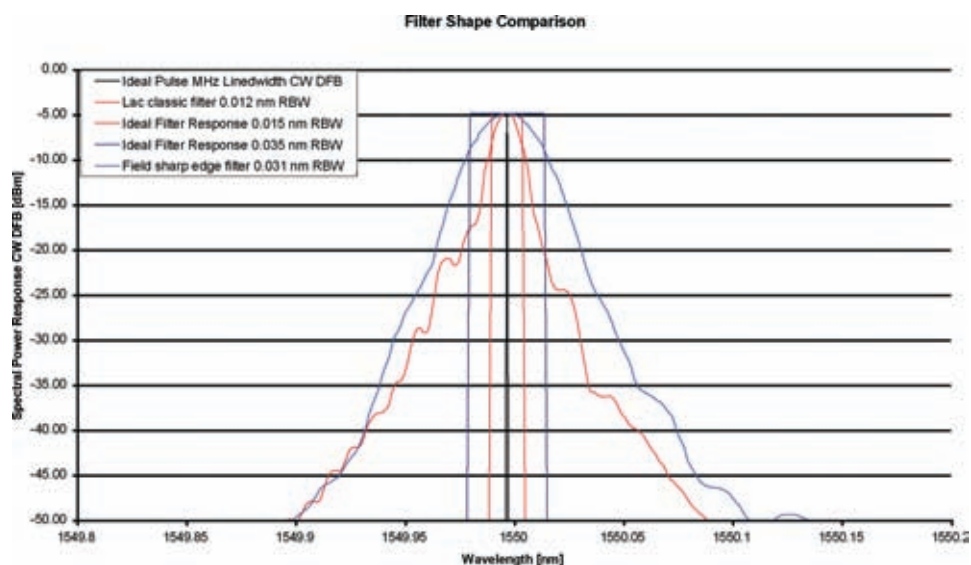


图4: 理想的滤波器响应与商用高分辨率光谱仪的响应比较

如下所示，OSA的滤波器光谱响应与具有相同RBW的理想滤波器的响应越接近，其测量OSNR的能力就越强。

为了使用非理想滤波器响应OSA 来获得尽可能最佳的OSNR测量结果，该标准建议对宽调制信号进行两轮测量；一轮使用窄RBW设置精确测量峰值（在中心通道间距处）附近的噪声，另一轮使用较宽的RBW精确测量信号功率。

处理该问题的另一种方法是对信号的功率谱进行积分，这种技术要求执行单次采集。

下面的两幅图片显示通过积分功率如何对调制载波宽于测量仪器RBW设置的信号功率进行更精确的估计。

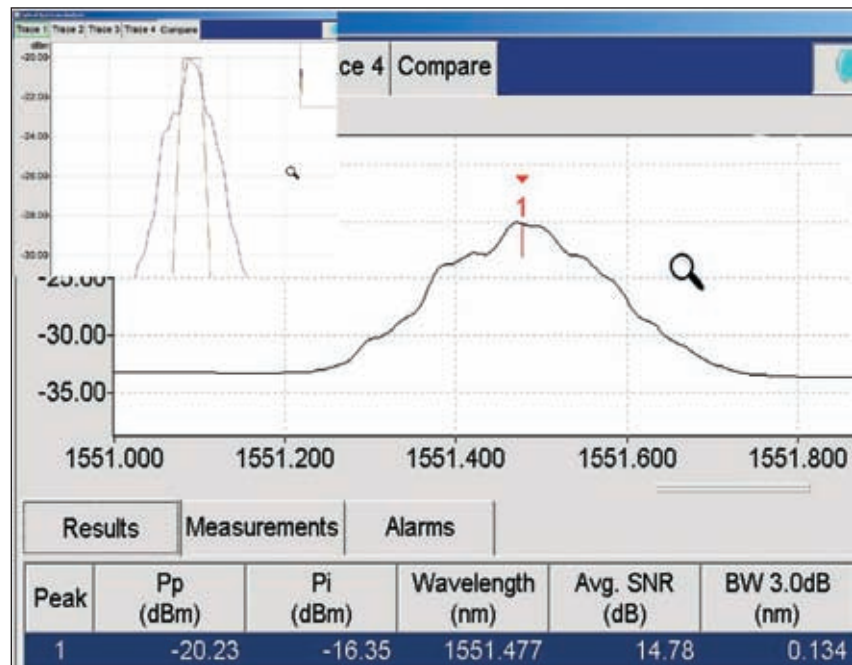


图5：显示功率积分优点的12 Gbit/s调制光谱。Avg. SNR表示在信号中心波长处使用内插法时的建议OSNR。在需要时，该值可根据积分功率被自动计算出来

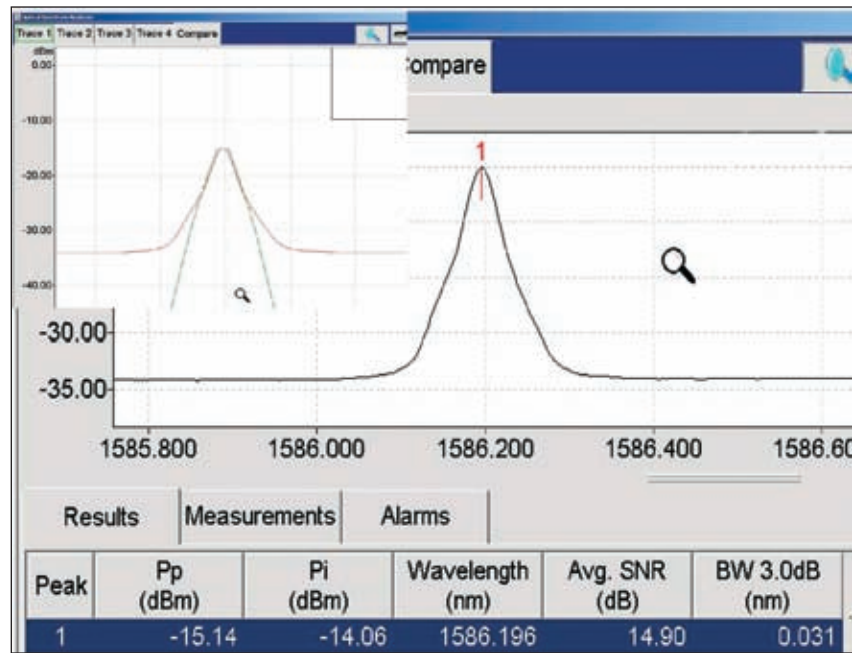


图6：使用积分功率来修正信噪比结果：2.5 Gb/s调制信号的光谱

能够测量信号积分功率的OSA 明显具有优势；当设置为其最佳RBW性能时，该设备能够在一次扫描后提供准确度极高的OSNR值。计算中去除了在信号下方进行积分的噪声功率，并且在使用窄RBW (~ 0.03 nm) 的单次扫描情况下，分别测得的结果与实际值之差不大于 0.25 dB (图5) 和 0.1 dB (图6)。

如下图所示，该方法模拟了低至仪器ORR 限值的理想滤波器响应，从而能够准确测量OSNR (在该例中低于 28 dB)。

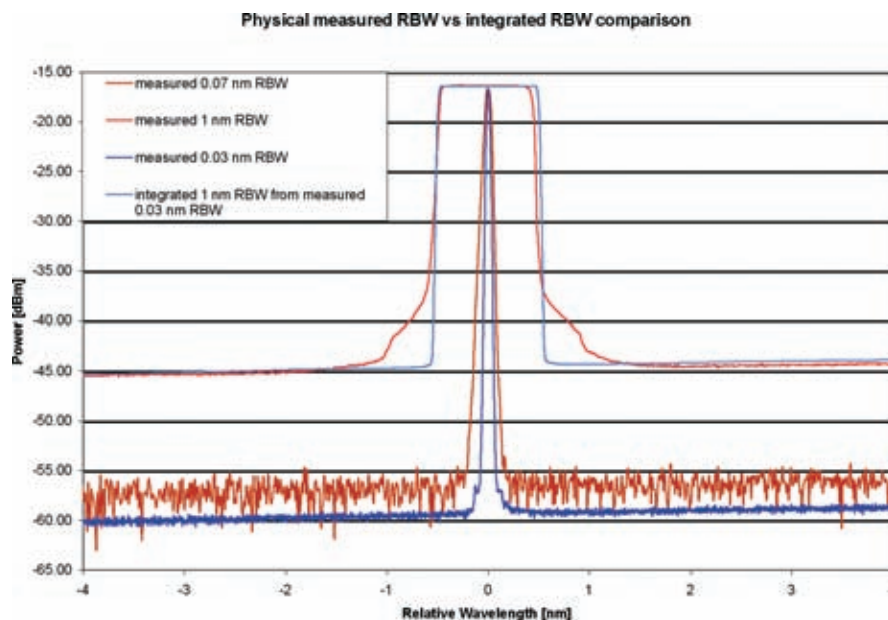


图7: 通过积分功率测量功能获得的理想滤波器响应曲线

根据设置的 0.03 nm RBW 测量计算得到的 1 nm (选择该宽度便于图示) 积分 RBW 显示出急剧下降的垂直波形边沿。这样就恰好能够在滤波器响应的边沿进行准确的 OSNR 测量 (类似理想滤波器的情况)。实际上，在自动测量 OSNR 的过程中，积分宽度会被自动调整为适合信号的调制谱宽度 (请参阅图5和图6)。

仪器ORR对其OSNR测量能力的影响

OSA的ORR性能将决定其测量峰值附近的微弱信号的能力。ORR的定义为距峰值给定距离($\Delta \lambda$)处的功率与OSA滤波器对给定的窄线宽输入 (脉冲函数等效源，线宽远远小于OSA的RBW) 响应的峰值功率的比值，单位为dB。OSA制造商过去通常在其仪器说明书中列明距峰值 0.5 nm 和 1 nm 处的ORR，现在则列明距峰值 0.1 nm、0.2 nm 和 0.4 nm 处的ORR (假定WDM传输系统的中心通道间距为 25 GHz、50 GHz 和 100 GHz)，这些值更加适用。下节将介绍ORR的典型值，但务必要记住指定某ORR值时的RBW设置。

为了以所需精度正确测量OSNR，IEC 61280-2-9建议噪声测量位置 (中心通道) 处的ORR应比待测的OSNR至少低 10 dB。例如，要测量在 0.2 nm (1550 nm附近 0.2 nm 是 25 GHz，这是间隔为 50 GHz 的通道集的中心通道间距) 处 25 dB 的OSNR，则仪器在 0.2 nm 处的ORR 必须至少为 35 dB 才能确保OSNR测量的不确定度低于 0.42 dB。

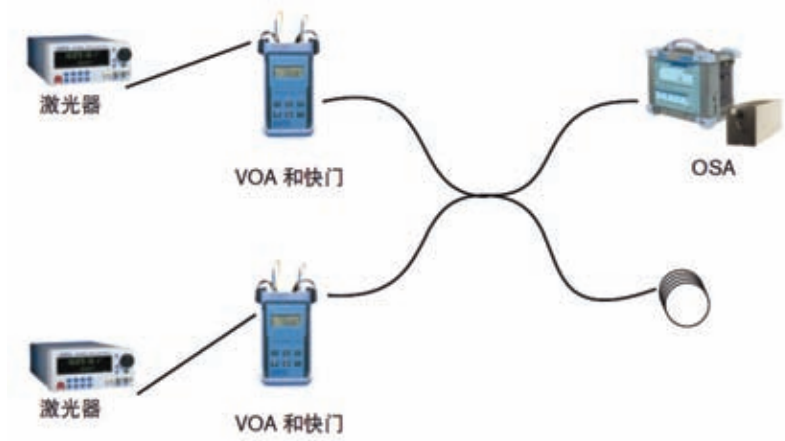


图8：评价OSA的ORR对OSNR测试能力的设置

为说明该效应，可以使用以上设置（图8）完成一个简单的实验，其中两个未调制的DFB激光器的输出设置有预定的间距（图9中~11 GHz），该间距中包括测量目前间距最小的（非常密集的25 GHz间距）已部署系统中的中心通道噪声所需的12.5 GHz值的~1.5 GHz余量。可以关闭和打开右侧的固定级别峰值（较大波长）而不影响其稳定性（使用快门），同时另一个峰值经过衰减器以使其功率调整至所需的级别。在每个测量功率级别，先在两个光源均被激活的情况下进行第一次测量，然后使用快门阻止右侧峰值（恒定功率DFB）以进行第二次测量。当衰减的峰值功率减小至更接近较大波长峰值的“裙边”时，将出现测量误差（该误差可用于比较不同的仪器）。

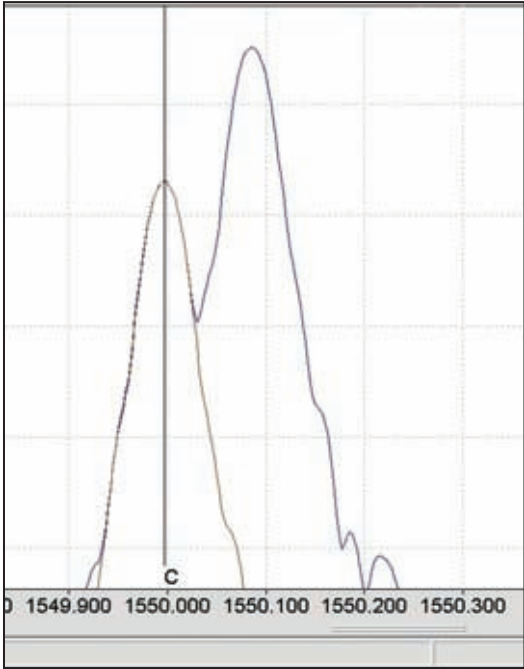


图9：评价~11 GHz时OSA的ORR对OSNR测试能力

对比这两条曲线可指示在测量可调峰值时是否产生了误差。这样便可表明，要采用所需间距以所需精度测量噪声（从而测量OSNR），应存在多少ORR余量。由于该测试仪考虑了处于或接近相同功率级别的相对功率值（使用和不使用相邻峰值所测得的相同峰值），所以测量中不会引入仪器刻度保真度误差，并且可在不影响结果公正性的情况下对仪器进行比较。当误差达到0.42 dB时得到的值是仪器OSNR测量能力的极限，该值应比仪器在给定间距处的ORR值至少高10 dB。

下面的表1和相关的图10根据基于光栅的四台不同OSA峰值之间的实际功率之差显示了它们的实测功率之差（由存在的邻峰引起）。在这四台OSA中，两台为使用陡峭沿滤波配置的现场便携式OSA（一台具有~0.05 nm的RBW，另一台具有~0.03 nm的RBW），另两台为使用代表大多数实验室OSA的滤波配置的实验室OSA，对它们进行了比较。所用的两台实验室OSA来自两家不同的制造商，一台具有0.07 nm的RBW，而另一台为具有~0.01 nm的极限RBW分辨率的高端实验室OSA；该值也是执行比较测试时使用的值。当对峰值测量结果带来的误差高于草案标准建议的0.42 dB不确定度时，停止测试。尽管没有为所有设备使用相同功率级别的数据点，但曲线之间已有充分的重叠，因而可以进行公平比较。

使用快门作为参考确定的功率差别	陡峭沿现场设备~0.05 nm RBW ^[5]	传统实验室 / 现场设备0.07 nm RBW ^[6]	陡峭沿现场设备~0.03 nm RBW ^[7]	高分辨率实验室设备~0.01 nm RBW ^[8]
实际OSNR (dB)	误差(dB)	误差(dB)	误差(dB)	误差(dB)
0	0	0	0	0
3	–	0.3	–	–
6	0.01	0.7	–	–
9	–	1.1	–	0.03
12	0.06	1.9	0.04	–
15	–	–	–	–
18	0.24	–	0.01	0.02
21	0.68	–	–	–
24	1.35	–	0.04	–
27	–	–	–	–
30	–	–	0.12	0.16
36	–	–	0.48	0.73
39	–	–	0.88	1.55

表1：由OSA ORR限制引起的峰值测量误差

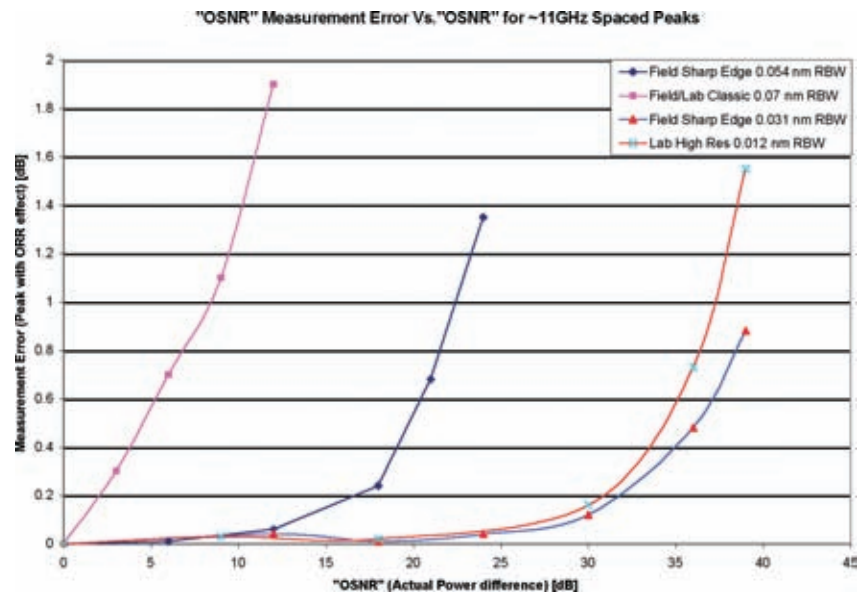


图10：由OSA ORR限制引起的峰值测量误差

结果显示，两台分别具有可比的RBW（0.07 nm和0.054 nm）的OSA的ORR性能大不相同，它们在相同引入误差条件下的OSNR测量能力差异超过10 dB。结果还显示，RBW为~0.03 nm（该值几乎是高端实验室仪器~0.01 nm RBW的三倍）的陡峭沿滤波器OSA响应引入了相当大的测量误差，其原因是高达40 dB的OSNR的ORR限制，这大大超出了WDM系统实际的范围。通过观察前面图3和图4中显示的这些OSA的滤波器响应，可以提前得出该结论（如下表所示）。

OSA仪器类型	根据图3或图4获得的ORR[dB]	从0.42 dB的测量误差推导出的ORR（图11 + 10 dB的余量）[dB]
传统现场/实验室设备(0.07 nm RBW)	~15	~15（~5 dB + 10 dB余量）
陡峭沿现场设备(0.054 nm RBW)	~30	~28（~18 dB + 10 dB余量）
高分辨率实验室设备(0.012 nm RBW)	~45	~43（~33 dB + 10 dB余量）
陡峭沿现场设备(0.031 nm RBW)	~45	~45（~35 dB + 10 dB余量）

表2：图10、图3和图4测试结果之间的相互验证

对于给定的RBW，陡峭沿滤波器响应更加接近理想滤波器响应，根据这一事实还可以获知陡峭沿滤波器响应的另一个优点。为了对所获得OSNR测量能力进行更直观地比较，可以使用公式2，在0.1 nm的归一化参考RBW下比较这些数据点。应用参考带宽校正（该公式的第二部分）后得到了以下曲线。

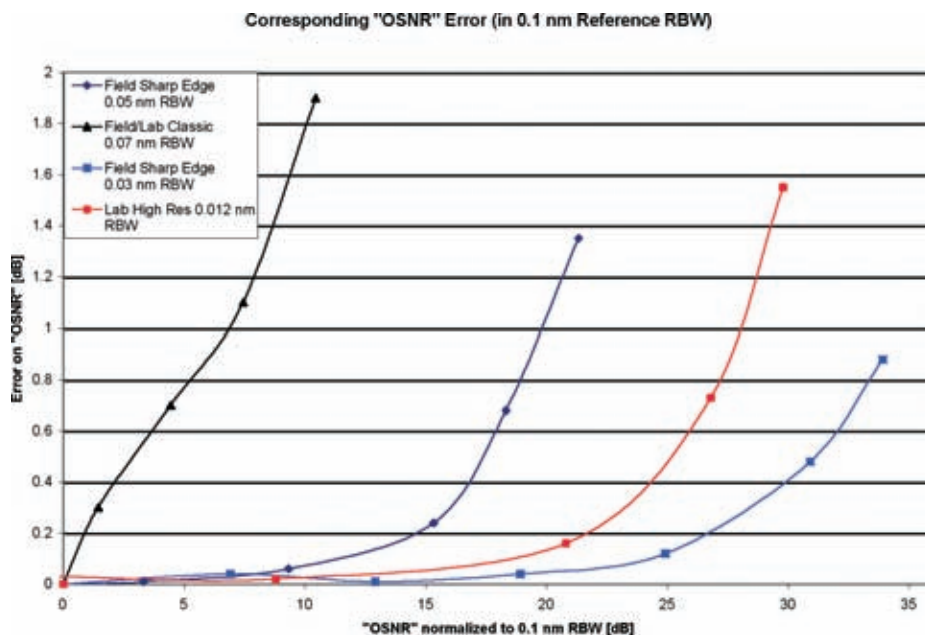


图11: RBW归一化到0.1nm时的OSNR测量能力

这些结果表明, OSA的滤波器响应会对其ORR 和性能造成相当大的影响, 进而会影响其正确测量OSNR的能力。同时还表明, 单凭RBW尚不足以代表仪器在这方面的性能。按照OSNR测量标准建议草案的建议, 在采用归一化方式表述感兴趣参考带宽的结果时还会再次强调这一点。

为进一步阐明ORR对OSNR测量的影响, 可以采用以下设置来实际评估OSNR测量能力。相同功率级别的三个未调制光源输出在经过带有快门的衰减器之后, 合成为宽带噪声源 (放大自发辐射或ASE源)。这些光源的输出未经调制, 以免引入由于信号大于RBW而带来的峰值功率测量不确定度。光源波长被调谐为所需的间距, 并且可以使用衰减器调整这些波长相对于ASE 级别的功率。关闭光源后可测量实际的噪声级别, 并且可以通过将峰值功率与实际ASE噪声级别进行比较 (隔离峰值时) 来执行精确的OSNR测量。

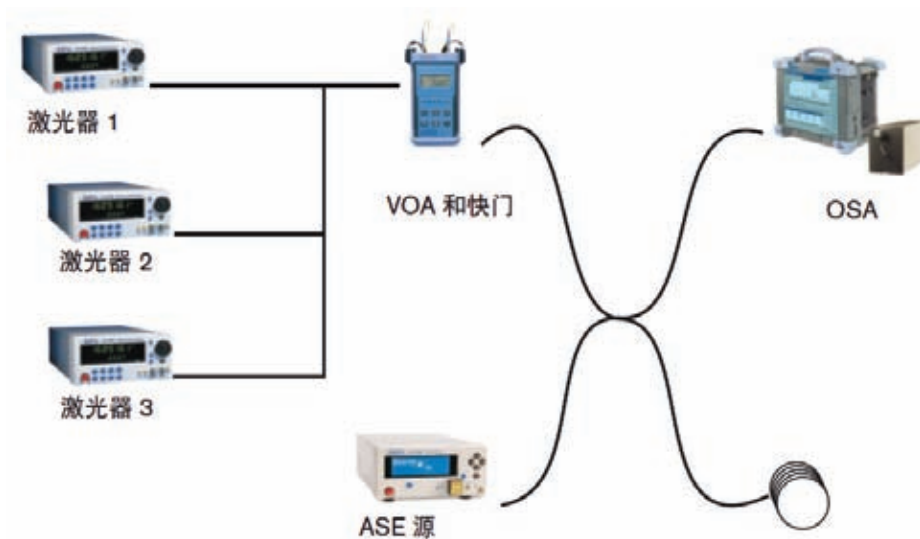


图12: 真实的OSNR测试设置

图13示出了在激活快门的情况下，使用两台不同的商用仪器测得的三个DFB光源的输出和噪声。光源间距为~25 GHz (0.2 nm)，峰值比噪声级别高~20 dB。

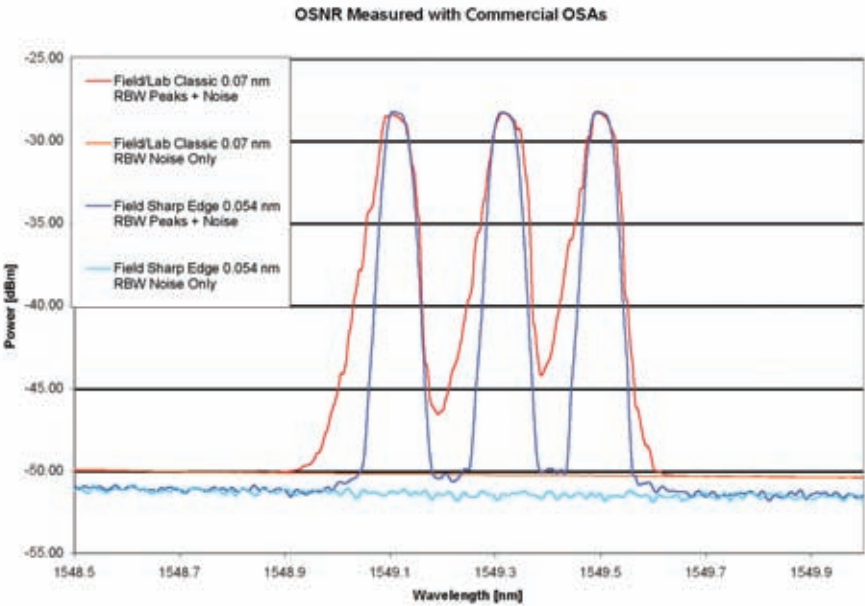


图13：在输入信号相同情况下OSA ORR所导致的OSNR测量误差

按照标准应用上述测量过程即可估算中心峰值处的OSNR。可将使用插值噪声得到的结果与实际噪声级别（根据关闭的峰值和从图中轻松观察到的误差来确定）下获得的结果进行比较，然后依次将其量化。下表显示了按照标准进行测量所需的测量级别和实际的噪声级别。

OSA 类型	中心峰值 ^{xiii} 处的P _i	中心峰值处的N _i （使用仪器RWB测得）	根据公式2获得的OSNR	实际噪声级别（使用仪器RWB测得）	实际OSNR	引入的误差
	[dBm]	[dBm]	[dB]	[dBm]	[dB]	[dB]
传统现场 / 实验室设备0.07 nm RBW	-28.3	-45.0	16.61 – 1.55 = 15.06	-50.26	21.93 – 1.55 = 20.38	5.32
陡峭沿现场设备0.054 nm RBW	-28.3	-50.4	22.07 – 2.68 = 19.39	-51.4	23.08 – 2.68 = 20.39	1.0

表3：由于ORR引起的OSNR测量误差

尽管对于这两台仪器来说，引入的误差要略好于根据图11所预期的误差，但这还是会导致高估OSNR。对于使用陡峭沿滤波器的现场仪器而言，误差为1 dB，且测量结果明显好于实验室/现场仪器，这使得实验室/现场仪器不适合测量间距如此紧密(25 GHz) 的通道的OSNR。请注意，与预期结果一样，实际的OSNR测量结果也证实了这一点。

可以使用更高分辨率的仪器进行相同的实验。在这种情况下，光源间距为~25 GHz (0.2 nm)，峰值比噪声级别高~25 dB。

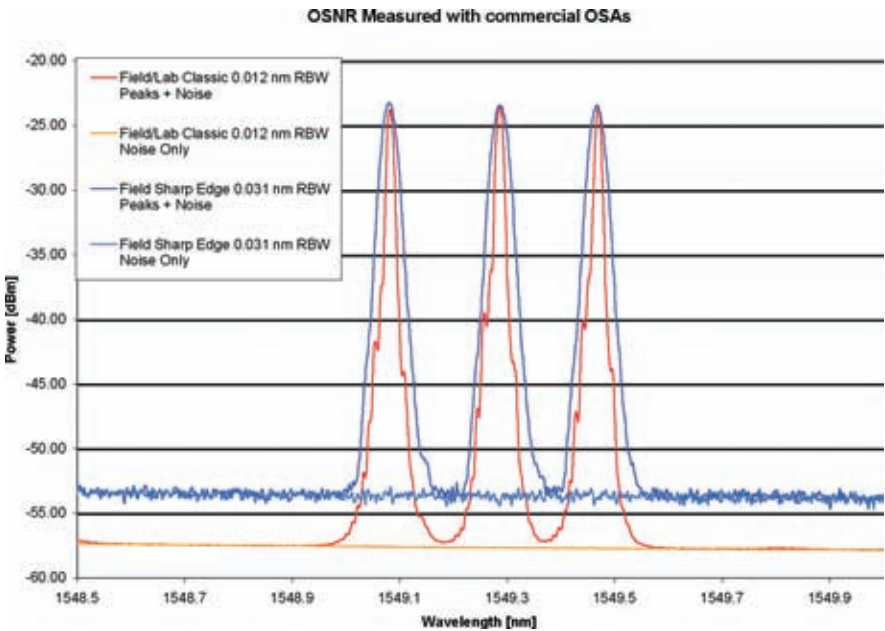


图14：在输入信号相同的情况下由OSA ORR的限制引起的OSNR测量误差

从该图中也可以获得相同的信息，下表则列出了测得的结果。

表4中的结果显示，两台设备引入的误差均小于或接近草案标准规定的容限(0.42 dB)，并且与在图11中的25 dB OSNR 处预期的误差结果相当吻合。添加第三行是为了说明观察到的实际OSNR的差异（与表中前两行相差~1 dB）。实际上，当把高端实验室仪器所用的RBW设置为0.01 nm时，其精确度并不能得到保证，而是估计其更接近0.012 nm；使用校正后的参数重新计算了OSNR。注意，现场仪器的RBW 不确定度不超过测试分辨率的±10%。

OSA 类型	中心峰值处的Pi	中心峰值处的Ni（使用仪器RBW测得）	根据公式2获得的OSNR	实际噪声级别（使用仪器RBW测得）	实际OSNR	引入的误差
	[dBm]	[dBm]	[dB]	[dBm]	[dB]	[dB]
传统现场 / 实验室设备0.01 nm RBW	-23.47	-57.2	$33.73 - 10 = 23.73$	-57.7	$34.23 - 10 = 24.23$	0.5
陡峭沿现场设备0.031 nm RBW	-23.47	-53.5	$30.02 - 5.09 = 24.93$	-53.8	$30.33 - 5.09 = 25.24$	0.31
传统现场 / 实验室设备0.012 nm RBW（已校正）			$33.73 - 9.21 = 24.64$		$34.23 - 9.09 = 25.14$	

表4：由于ORR引起的OSNR测量误差（高分辨率仪器）

根据OSA的ORR和RBW指标评估其OSNR测量能力

上面的实验已经表明OSA的RBW和ORR会如何影响仪器的OSNR测量能力。此外，仅根据仪器的RBW来对其进行鉴定并不足以说明OSA按照IEC 61280-2-9标准正确测量OSNR的能力。

为完善分析，本节将介绍如何根据仪器的RBW和ORR指标简单推导其OSNR测量能力。或者，可以使用窄线宽输入源（未调制激光器），通过直接观察OSA的滤波器响应来测量此OSA的距峰值所需距离处的实际ORR性能。根据公式2推导了0.1 nm RBW下的OSNR测量能力，其中可测量的最高 P_i/N_i 由距峰值所需距离处的ORR指标给出，并且加上了所需的余量（在下一个表中使用10 dB，因为该值是草案标准建议的合理值）。

这样所得到的公式可用于快速评估OSNR 测量能力：

公式 2. 基于光谱仪标称的分辨率带宽(RBW)和光抑制比(ORR)来估算光谱仪在参考分辨率带宽为0.1 nm时的信噪比测试能力。

$$OSNR_{capability, 0.1nm\ RBW} = ORR_{mid-channel} + 10 \times \log_{10} (RBW/0.1) - 10$$

公式3: 基于RBW规格和ORR规格 (dB)，在0.1 nm RBW时OSA的OSNR测量能力

其中：

- $ORR_{mid-channel}$ (dB) 为仪器在不存在噪声的情况下可测的最大OSNR（仅存在滤波器响应限制）；它近似等于公式2的第一部分；
- $10 \times \log_{10} [(P_i + N_i) / N_i]$ （给定中心通道间距下），由于 N_i 与 P_i 相比相对较小，而且由于近似误差通常可忽略，可将该部分简化为： $10 \times \log_{10}(P_i/N_i)$ ，即OSA 制造商在说明书中列明的ORR 值；
- RBW (nm) 为OSA制造商用于为给定仪器指定ORR的最小指定分辨率带宽（或噪声等效带宽）；
- 0.1 nm为在仪器之间进行比较所用的参考带宽，并且由于测量时RBW通常小于参考的0.1 nm，因此在公式的这一部分添加了负偏移量（单位为dB；RBW较小时测得的噪声较小）；
- 10 (dB) 是仪器的ORR必须具备的合理余量，这样才能避免增大OSNR测量的不确定度。

例如，分辨率带宽为0.065 nm、50 GHz（100 GHz通道间距的中心通道）处指定的ORR为45 dB的OSA将能够测量：

$$OSNR_{capability_{0.1nm\ RBW}} = 45 + 10 \times \log_{10} (0.065/0.1) - 10 + 33.1\text{ dB}$$

而不会给OSNR测量结果增加超过0.42 dB 的不确定度。

最后作为总结，下表提供了商用仪器样本及其各自的指标（已发布^{xiv}），以及在给定通道间距下以0.1 nm作为参考时相应的OSNR测量能力（采用的是上述实验中的四台OSA，在上述实际测试中测得的结果显示在方括号内）。请注意，在实际情况下，对OSNR的系统要求通常为在0.1 nm的RBW下约20 dB。

仪器描述	RBW[nm]	0.1 nm下的 ORR（25 GHz间距的中 心通道）[dB]	0.1 nm参考 RBW下对应 的OSNR测 量能力[dB]	0.2 nm下的 ORR（50 GHz间距的中 心通道）[dB]	0.1 nm参考 RBW下对应 的OSNR测 量能力[dB]	0.4 nm下的 ORR（100 GHz 间距的中心通 道）[dB]	0.1 nm参考 RBW下对应 的OSNR测 量能力[dB]
现场OSA直 角滤波器 ^[5]	0.065	— [~30]	— [18]	35	23.1	45	33.1
现场OSA直 角滤波器 ^[6]	0.035	35 [~45]	20.4 [30]	48	33.4	50	35.4
实验室 / 现 场OSA传统 滤波器 ^[7]	0.07	— [~17]	— [5]	—	—	58（0.5 nm处）	41.2
高分辨率实 验室OSA传 统滤波器 ^[8]	0.01	— [~45]	— [20]	60	40	70	50
实验室 / 现 场OSA传统 滤波器 ^[9]	0.05	—	—	42	29	60	47
现场OSA直 角滤波器 ^[10]	0.075	—	—	33	21.8	40	28.8
实验室 / 现 场OSA传统 滤波器 ^[11]	0.06	—	—	40	27.8	55	42.8
实验室 / 现 场OSA传统 滤波器 ^[12]	0.05	—	—	40	27	55	42

表5：商用OSA OSNR测量功能汇总表

参考资料

- [1] ITU-T建议标准G.692：带光放大器的多通道系统的光接口。
- [2] ITU-T建议标准G.959.1：光传送网的物理层接口。
- [3] IEC 61280-2-7光纤通信子系统测试步骤 – 第2-7部分：数字光纤系统误码率与接收功率的数据分析。
- [4] IEC 61280-2-9光纤通信子系统测试步骤 – 第2-9部分：数字系统 – 测量密集波分复用系统的光信噪比。
- [5] EXFO FTB-5240S现场OSA，使用光纤滤波器配置和~0.05 nm的RBW。
- [6] EXFO FTB-5240S-P现场OSA，使用光纤滤波器配置和~0.03 nm的RBW。
- [7] Anritsu MS9710B实验室OSA也用于现场应用；最小RBW为~0.07 nm。
- [8] Ando AQ6317高分辨率实验室OSA；最小RBW为~0.01 nm。
- [9] Anritsu MS9710C实验室OSA 也用于现场应用；最小RBW为~0.05 nm。
- [10] Acterna OSA 160，RBW指标为典型值。
- [11] Agilent 8614xB系列的最优指标。
- [12] Ando AQ6331现场/实验室OSA；最小RBW为~0.05 nm。

备注

- i 所需数量的通道分配在ITU建议标准G.692[1]规定的栅格上，并采用系统在该栅格上特有的间距。
- ii 抖动作为比特内相对采样位置的直接效应，而色散效应，即偏振模色散（PMD）和色度色散（CD）则导致由光纤特性及其PMD环境条件决定的可变延迟，这会使连续比特的相对位置发生充分改变，从而生成符号间干扰并影响给定通道的BER。
- iii 峰值波长和峰值功率之类的其他参数为次要参数。波长漂移的最终影响是（例如）给定通道滑移到复用器（复用或解复用）边缘附近，从而减小该通道的接收功率，进而使其OSNR减小，同时引入偏振相关损耗和延迟。这种漂移的另一个影响是该通道将成为相邻通道上的复用器“很少拒绝”的通道，从而导致相邻通道的OSNR降低。因此，波长漂移是OSNR降低的预警信号。同理，峰值功率信息也非常重要，因为它是OSNR公式的一部分。通常在系统试运行中对OSNR进行调整以便优化该系统在所有通道上的性能。
- iv 请注意，Q因子测量同样如此，通常该测量以比实际传输比特率低的欠采样率数量级执行（但是获取速度比从光谱获取OSNR数据要快）。
- v 仪器的噪声等效带宽（NEBW）是顶点位于峰值且涵盖与仪器对窄峰值（脉冲函数）响应曲线下相同的区域的理想矩形平顶滤波器的宽度。OSA的NEBW值或分辨率带宽（RBW）有时也称为半幅值全宽度（FWHM或3 dB宽度），不同OSA的该值通常比较接近。
- vi 当噪声级别发生变化时，例如在信号通道以不同径距长度经过不同路径以及许多放大器已组合或临近放大器增益区边界的情况下，通过测量多个点上的平均噪声值来提高测量的可重复性可能十分有用。在噪声非常平坦的情况下，这种平均不会改善测量的可重复性，也不会对测量造成负面影响，前提是要合理选择测量宽度。通常，选择测量时距峰值距离的~10%作为测量范围将是合理的宽度。
- vii 始终适用，前提是满足本文档中提到的ORR条件且仪器的光滤波器限制不会影响噪声测量，宽噪声级别与RBW相比近似平坦，而且测得的噪声级别大小与RBW成比例。
- viii 请注意，该草案标准没有规定必需使用的余量，这使建议的该部分与ORR要求保持一致。
- ix 该标准使用了术语“动态范围”，读者可能将该术语与仪器的最大到最小功率测量范围二者相混淆。因此术语ORR更加合适。
- x 该标准的第4.4.5节提出了以下公式，以估算由距峰值给定距离（中心通道间距）处的ORR限制引入的OSNR不确定度：

$$\pm \Delta OSNR = 10 \times \log(1 + 10^{\frac{-(ORR - OSNR)_{[GHz]} (dB)}{10}})$$

其中，10 dB的余量($ORR - OSNR = 10$)将使测量结果产生 ± 0.42 dB的不确定度。

- xi 在实践中，可将线宽为数MHz、数量级小于OSA滤光器响应的未调制分布反馈式（DFB）激光器用作光源以便观察OSA的滤波器响应。
- xii 基于光栅的OSA在传统上用于实验室环境，过去几年中已逐渐被用于现场环境。它们可提供现场和实验室中可用的OSA中最佳的OSNR测量性能。
- xiii 已对中心峰值功率进行了校正以消除连接器匹配损耗和绝对校准误差。固定偏移校正小于0.5 dB并应用于整个曲线。
- xiv 所有指标在发布当时有效。有关最新的规格指标，请参阅相应制造商的网站。

EXFO 公司总部 > 400 Godin Avenue, Quebec City (Quebec) G1M 2K2 CANADA 电话: +1 418 683-0211 传真: +1 418 683-2170 info@EXFO.com			
		免费电话: +1 800 663-3936 (美国和加拿大) www.EXFO.com	
EXFO 美洲	3701 Plano Parkway, Suite 160	Plano, TX 75075 USA	电话: +1 800 663-3936 传真: +1 972 836-0164
EXFO 亚洲	151 Chin Swee Road, #03-29 Manhattan House	SINGAPORE 169876	电话: +65 6333 8241 传真: +65 6333 8242
EXFO 中国	北京市东城区北三环东路 36 号 环球贸易中心 C 栋 1207 室	邮编: 100013	电话: +86 (10) 5825 7755 传真: +86 (10) 5825 7722
EXFO 欧洲	Omega Enterprise Park, Electron Way	Chandlers Ford, Hampshire S053 4SE ENGLAND	电话: +44 2380 246810 传真: +44 2380 246801
EXFO 服务保障部门	285 Mill Road	Chelmsford, MA 01824 USA	电话: +1 978 367-5600 传真: +1 978 367-5700