

浅析 DWDM 系统信噪比测试

随着通信信息量的迅猛增长，传输容量、传输设备也不断地增加，DWDM 技术的应用越来越广泛，从点-点的传输乃至自愈的环网都充分利用了光纤的带宽，各种速率、各种数据格式的不同厂商的设备，通过增加新的波长和特性满足对传输容量和传输距离的各种要求。

DWDM 系统是一种光域的模拟系统，主要包括光中继站、光终端站、光分插复用器等。DWDM 传输系统的主要对象包括光传送段、光复用段和光通道。其维护测试指标主要是误码性能和光信号波长、光功率、光信噪比等。

波长的测量：主要用来衡量中心波长光信道的间隔、DFB 激光器稳定性、掺铒放大器放大范围、频谱偏移（波长随时间的偏移）等关键问题。功率测量：主要衡量激光器输出功率、光纤衰减、可能产生的非线性效应、EDFA 增益的斜率影响功率的均衡等情况。信噪比的测量：主要衡量放大器的噪声、光通道之间的串扰、光纤的色散等系统性能。在实际的 DWDM 系统的安装和验收中，一般的网元测试主要在工厂验收时完成，例如：激光器的参数、EDFA 增益、噪声系数、增益平坦度、合波器/分波器的插入损耗、每个信道的回波损耗、串扰、平均中心波长、每个信道的带宽、每个信道的 PDL（极化相关损耗）以及 DWDM 终端设备光接口指标等。而系统测试则是工程验收和维护工作中经常实际测试的项目，主要包括：每个信道波长及其稳定度和信道间隔；每个信道的信噪比；每个信道的功率及其稳定度；光接口的发送和接收功率测试。

一、光信噪比的定义

在实际 DWDM 系统网络中，不论是朗讯、北电、还是华为的 DWDM 设备，由于人为因素会影响线路损耗、尾纤、法兰盘以及温度，影响放大器输出功率等原因都直接反映在信噪比上，所以信噪比测试指标变化较大。光信噪比 OSNR 是一项重要指标（信噪比 $SNR = P_{out}/P_{noise}$ ，即光输出功率与噪声输出功率的比），往往系统建成后全网调测时需要反复调整优化光功率，才能达到理想的信噪比。被放大的噪声信号的输出功率 $P_{noise} = 2 \times n \times hv \times (G-1) \times B$ 。式中， n 代表噪声指数， hv 代表光子能量， G 代表增益， B 代表带宽。如果系统有 N 个光放大器，则 $P_{noise} = N \times 2 \times n \times hv \times (G-1) \times B$ 。噪声功率主要来自放大的自发发射噪声、增益、光纤色散引起的码间干扰、光纤的非线性效应等因素。除了自发发射噪声，其余可变因素能够使信噪比的变化情况反映出系统的变化情况。

已知给定的信噪比 OSNR 的简单化模型为：

$$\text{固定的跨距衰减 OSNR}_n = 58 + P_{\text{总}}/M - N_f - L - L_g N$$

公式中 $OSNR_n$ 表示 N 个跨距后的光信噪比， M 代表波分复用的光信道数量， $P_{\text{总}}/M$ 表示每信道的输出光功率， N_f 为光放大器（OA）的噪声指数， L 为跨距衰减。

$$\text{最坏情况信道的可变跨距衰减 OSNR}_k = 58 + P_{\text{坏}} - N_f - L_{\text{ang}} - L_g K$$

上式中 $OSNR_k$ 表示 K 个跨距后的光信噪比， M 表示波分复用的光信道数量， $P_{\text{坏}}$ 表示最坏情况信道的输出光功率， N_f 表示光放大器（OA）的噪声系数， L_{ang} 表示渐增的跨距衰减。

二、光信噪比的测试与系统调整

对于一个已建成的网络来说，跨距衰减、波分复用的光信道数等都是常量，从简单模型可见，OSNR的变化主要受信道的输出光功率影响，这和平时系统测试的情况基本吻合。通常，系统的信噪比不理想时往往通过改变 OTU 盘所加衰耗器来达到要求，事实上也就是改变了 OTU 的输出光功率。另外，线路割接、法兰接触不良所带来的影响，一方面使跨距衰减加大，另一方面也使光放大器的输出功率下降，对信噪比的影响很大。

为了认识 OTU 输出功率下降对 OSNR 的影响和光纤衰减对 OSNR 的影响，我们分别做了以下测试：(1) 在系统调测完成后，测试一组 Mpl-s 点的光功率和信噪比。(2) 把中心频率为 192.2THz 的 OTU 盘的衰耗器增加 5dB，仍然测试一组 Mpl-s 点的光功率和信噪比。(3) 把该 OTU 盘的衰耗器增加 10dB，仍然测试一组 Mpl-s 点的光功率和信噪比。

测试结果表明，OTU 输出增加 5dB 时，中心频率为 192.2THz 的波长在 Mpl-s 点的光功率下降了近 8dB，信噪比降低了 5 个值，而其它中心频率的波几乎没有大的变化，这主要因为放大器具有自动增益均衡，当 16 路信号中的某些信号失去时，不影响其它通路的正常运行，没有突发误码产生；光功率降低和信噪比降低的趋势基本一致但不具有完全的线性关系；OTU 输出增加 10dB 时中心频率为 192.2THz 的波长就可能超出了 OA 的接收灵敏度的范围而测不到光功率和信噪比，而其余各波基本没有大的变化，原理同上。如果在极限情况下，15 个波同时超出 OA 的接收灵敏度的范围，剩下的一个通路还能正常无误码工作。

虽然线路衰耗或连接器引起的衰耗对光输出功率和噪声都有衰耗，但从简单模型看，OSNRk 与 Nf 不具有完全线性关系，这是因为 DWDM 系统的信号大多数是经过多个光放大器 OA 自动增益控制的再生和放大，有些噪声可能减弱或被抵消；另一方面，光信号被衰耗后，色散、非线性效应等因素也难以预料，因此设备和线路的衰耗情况难以进行直观的区别，而要通过对各个光中继段的光功率、误码性能的监测来判断设备或线路的故障。在实际工程中，就有因为法兰盘不好而影响好几个波的信噪比的情况。

信噪比的测试目前是取光输出功率的十分之一来进行监测的，其精确度也不能完全准确的反映信噪比的各种特性，因此，光输出功率、光纤衰耗和信噪比之间的内在联系以及定性、定量的关系，还需要通过模拟各个光中继段线路衰耗的各种情况来摸索、分析，找出规律。