

采用超低损耗 (ULL) 部件来优化短距离单模部署

作者: Gary Bernstein, RCDD, CDCD



数据中心内单模的增长

随着全球数字化的不断扩展，作为每个组织的关键业务核心的数据中心对带宽的要求越来越高。为了满足这一需求，信号、收发器和光通信技术的进步以及随后的 IEEE 光纤以太网标准也在不断跟上。多模和单模光纤应用现已达到 400Gb/s，800Gb/s 以太网的标准已经在开发中，未来 1.6 和 3.2Tb/s 的应用也不远了。

由于单模光纤总体上具有更大的带宽潜力和传输距离，它已迅速成为当今超大规模和云计算数据中心高速应用的首选介质类型。这也大大增加了光纤的采购量，并有助于降低单模收发器的成本。然而，对于大多数链路长度较短的企业数据中心来说，在 10 公里或更长距离的单模部署中所使用的高功率激光器成本较高，在经济上是不合理的。同时，超过 40Gb/s 的高性价比多模应用被限制在 100米 / OM4 和 70米 / OM3 的距离内，这对数据中心设计者来说是一个挑战。

现在，通过支持 100、200 和 400Gb/s 速率到 500 米和 2000 米距离的短距离单模应用，以更优成本效益的方式支持超过 100 米的高速应用是可行的。然而，与长距离单模应用相比，这些新应用的插入损耗预算也大为减少，但有一些回波损耗的考虑。值得庆幸的是，就像对待多模应用一样，经过验证的超低损耗（ULL）高性能布线系统保证更高的性能余量，让数据中心业主和运营商有信心地可靠支持短距离单模应用，同时保证多个连接的灵活性、管理性、可扩展性和部署速度。

什么是短距离单模？

长距离的单模光纤应用，如长距离 (LR) 和扩展距离 (ER)，使用高功率边缘发射激光二极管，在更远的距离上提供更多的带宽，其中 LR 应用支持长达 10 公里的距离，ER 支持长达 40 公里的距离。由于这些激光器的结构复杂，长距离单模收发器的成本明显高于使用更简单的垂直腔表面发射激光器 (VCSEL) 的多模收发器。

随着对成本敏感的企业数据中心包含更短的链路长度，多模光纤在过去几十年中成为首选介质。然而，随着传输速率的提高，多模光纤支持的距离正在减少。例如，10Gb/s 的 10GBASE-SR 双工应用可以通过 OM4 多模光纤支持到 400 米（西蒙的 XGLO 系统可以支持到 550 米）。对于 40Gb/s 的 40GBASE-SR4 并行光学应用，使

用多芯光纤连接器 (MPO) 的多根光纤, 在 OM4 多模上支持的距离下降到只有 150 米。对于 100Gb/s 及以上多模应用, OM4 的距离被限制在 100 米。

为了支持数据中心高速链路的更长距离, 开发了规格宽松的节电单模激光器, 用于短距离数据中心的部署。由于功率和相关的能源消耗及发热较少, 这些收发器比长距离单模激光器的成本要低。早期的短距离单模应用方案采用的是基于每通道 25Gb/s 的非归零 (NRZ) 信号传输技术。在 2014 年, CWDM4 多源协议 (MSA) 发布了一个 100Gb/s 的波分复用 (CWDM) 应用。被称为 100GBASE-CWDM4 的该应用, 在双工单模光纤上复用了四个 25Gb/s 的通道。同一年, 100G PSM4 MSA 也定

义了一个 100Gb/s 并行单模四通道 (PSM4) 应用, 其特点是使用 MPO 连接在 8 芯光纤上实现四个 25Gb/s 通道。

随着四级脉冲振幅调制 (PAM4) 信号传输技术的发展, 它提供了两倍于以前 NRZ 信号传输技术的比特率, 以实现每通道 50 和 100Gb/s, IEEE 引入了 DR (data center reach) 和 FR (fiber reach) 单模应用, 其距离分别为 500 米和 2000 米。PAM4 信号传输技术为具有成本效益的双工 100Gb/s 和四通道 200 和 400Gb/s 短距离单模应用铺平了道路。表 1 显示了短距离单模应用的各种选择。

应用	标准	距离	信号/通道速率	通道数量	传输	光纤芯数
100GBASE-PSM4	PSM4 MSA	500 m	NRZ 25 Gb/s	4	Parallel Optics (MPO)	8
100GBASE-CWDM4	CWDM4 MSA	2 km	NRZ 25 Gb/s	4	CWDM	2
100GBASE-DR	IEEE 802.3ba	500 m	PAM4 100 Gb/s	1	Duplex	2
200GBASE-DR4	IEEE 802.3bs	500 m	PAM4 50 Gb/s	4	Parallel Optics (MPO)	8
200GBASE-FR4	IEEE 802.3ba	2 km	PAM4 50 Gb/s	4	WDM	2
400GBASE-DR4	IEEE 802.3bs	500 m	PAM4 100 Gb/s	4	Parallel Optics (MPO)	8
400GBASE-FR4	IEEE 802.3cu	2 km	PAM4 100 Gb/s	4	WDM	2

表 1: 短距离单模光纤应用

PAM4 的推出，加上超大规模和云计算数据中心的单模采购量增加，推动了单模光纤系统的成本下降。平均而言，一个短距离的 100GBASE-DR 系统现在比 CWDM4 系统的成本低 80%，比 PSM4 系统低 10% 左右。

如图 1 所示，100GBASE-DR 单模系统的成本现在也与 100Gb/s 多模应用持平或更低，包括 100GBASE-SR4 并行多模光纤应用和 100Gb/s 双向（BiDi）多模应用。

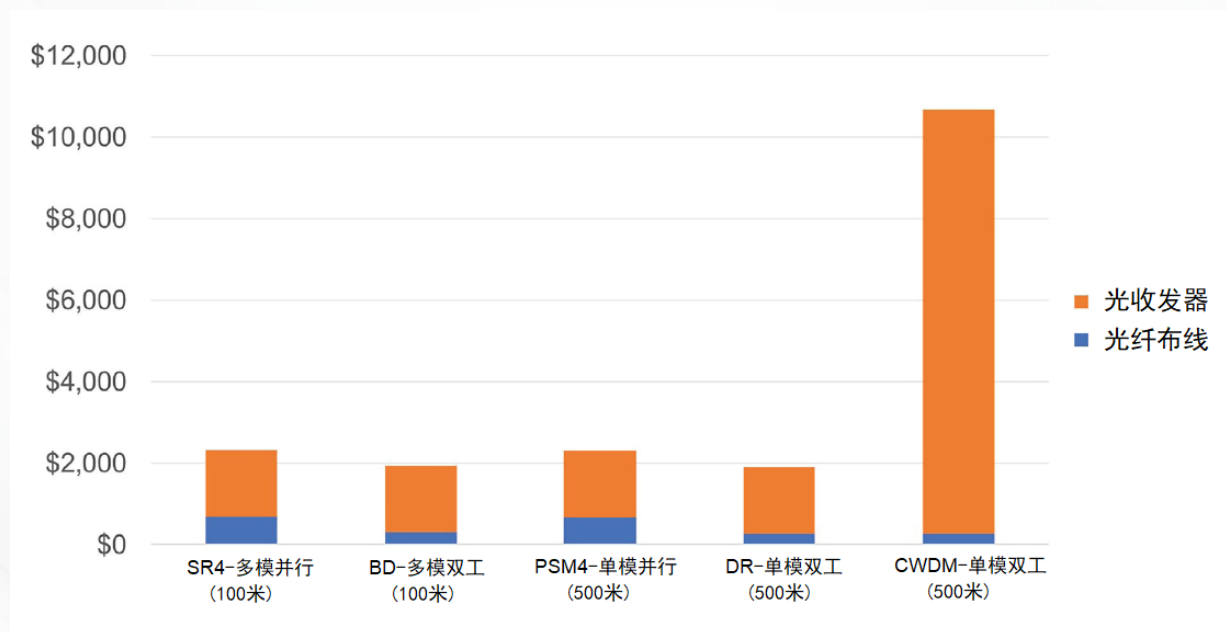


图 1：100G 信道价格，基于平均列表价格

由于相对于传统远距离单模应用的成本节约，短距离 DR 和 FR 单模应用预计将在企业数据中心中迅速普及，因为它们将骨干交换机到交换机的主干链路迁移到 100、200 和 400Gb/s 的速率。它们还支持具有成本效益的分支配置，在这种配置中，一个 200G 的交换机端口可分支为四个 50G 的连接，或一个 400G 的交换机端口可分支为四个 100G 的连接，优化了端口利用率和交换机密度，从而降低了成本。

DR 和 FR 应用对于正在向 400 和 800Gb/s 交换机到交换机主干链路以及 50、100 和 200Gb/s 水平交换机到服务器链路迁移的云和超大规模数据中心来说也是很好的定位。IEEE 802.3df 的 400G/800G/1.6T 工作组已将 DR 和 FR 应用作为 800Gb/s 和 1.6Tb/s 应用的物理层目标的一部分，这将进一步推动这些应用在云和超大规模数据中心内的采用。

新的插入损耗和反射率要求

以分贝（dB）为单位，插入损耗是指信号在沿线路传输时损失（即衰减）的功率，它受到线缆长度和连接点的影响。插入损耗还可能受到现场安装变化的影响，如超过线缆的弯曲半径要求、光纤连接器端面未对准或污染，以及收发器的老化。插入损耗是光纤应用的主要性能参数 - 如果它太高，信号就不能被远端的收发器正确接纳。

最大信道插入损耗由收发器制造商和支持所有光纤应用的标准机构确定。作为现场安装完成后的一级和二级光纤测试的要求，插入损耗是用功率计或光损耗测试装置来测量的，它将信道一端注入的功率和另一端接收的功率进行比较。

应用	距离	最大信道插损
多模		
SR/SR4	100 m	1.9 dB
SRBD (BiDi)	100m	1.9 dB
短距离单模*		
DR/DR4	500 m	3 dB
100GBASE-CWDM4	2 km	5 dB
FR4/FR8	2 km	4 dB
长距离单模*		
LR/LR4	10 km	6.3 dB
ER4/ER8	40 km	15 – 18 dB

表 2：最大信道插入损耗要求

*包含 500 米光纤 0.2dB 损耗和 2 km 光纤的 0.8 dB 损耗

虽然长距离单模 LR 和 ER 光纤应用提供了充足的插入损耗预算，可以达到 18dB，但长期以来，企业数据中心一直受到更为严格的仅 1.9dB 的高速 40Gb/s 及以上的多模光纤应用插入损耗预算的挑战。较低的高速多模光纤系统最大插入损耗要求是推动低损耗和超低损耗多模连接产品发展的关键因素。

如表 2 所示，与长距离单模应用相比，较新的短距离 DR 和 FR 单模应用的宽松规格也受到插入损耗预算大幅降低的影响。然而，在 3 至 5dB 的水平下，短距离单模最大信道插入损耗的要求仍比多模应用的限制要来得少。

光纤系统的另一个关键性能参数是反射率，即连接器所反射的光量与注入光量的比。反射率是由光纤中的杂质和不同折射率的介质间变化所引起的，如玻璃和空气，它发生在耦合、开放和受污染的连接器的上。与插入损耗一样，反射率也是以分贝为单位测量的，但它表示为一个负数。请注意，虽然 IEEE 应用标准规定了反射率，但像 ANSI/TIA-568-3.D 这样的布线标准提的是回波损耗，它表示为一个正数。回波损耗是反射率的简单倒数，定义为注入的光量与反射回来的光量的比较。要记住的一个简单原则是，反射率或回波损耗值离零越远越好。

单模收发器更容易受到反射的影响，特别是在 1500 纳米 (nm) 以上的波长。这就是为什么单模应用通常使用斜角物理接触 (APC) 连接器，并且成为电信运营商 FTTX 和无源光网络的事实标准，这些网络在单模光纤上通过更高的波长发送视频。与具有圆形光纤端面的超物理接触 (UPC) 连接器不同，APC 连接器端面是以 8 度角进行研磨的。倾斜的表面使大部分反射的光信号偏转到围绕着光纤纤芯的光纤包层中，减少反射到收发器的光量。如图 2 所示，UPC 连接器的反射值通常为 -50dB 左右，而 APC 连接器的反射值为 -65dB 左右。根据行业标准，单模 UPC 连接器的颜色是蓝色，而 APC 连接器是绿色的。

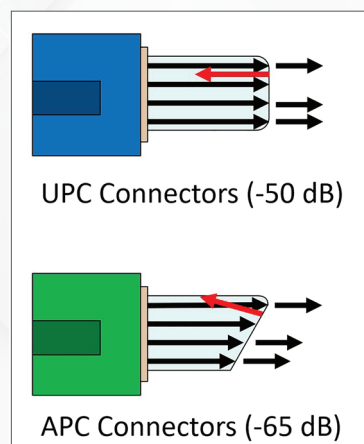


图 2: 8 度斜角端面的 APC 连接器将更多光量反射到包层内，减少反射到收发器的光量

400GBASE-DR4 (IEEE802.3bs)	
离散反射数量 # 高于 -55 dB	每个离散反射的最大值
1	-37 dB
2	-42 dB
4	-45 dB
6	-47 dB
8	-48 dB
10	-49 dB
400GBASE-FR4 (IEEE802.3cu)	
离散反射数量 # 高于 -55 dB	每个离散反射的最大值
1	-25 dB
2	-31 dB
4	-35 dB
6	-38 dB
8	-40 dB
10	-41 dB

表 3: 由于高速短距离单模光纤收发器更容易收到反射的影响，IEEE 根据信道内的耦合对数为 DR 和 FR 应用定义了反射率指标。

高速短距离单模收发器甚至更容易受到反射率的影响。这导致 IEEE 根据信道中耦合对的数量来定义 DR 和 FR 应用的反射值。如表 3 所示，如果 400GBASE-DR4 应用中耦合连接器的反射率为 -45 dB，则信道中只能包括四个连接器对。如果改进后的反射率为 -49 dB，则可以包括 10 个连接器对。如果不能满足 DR 和 FR 应用的离散反射率要求，则需要降低最大信道插入损耗。

超低损耗连接件的优势

虽然较新的短距离单模应用是一个非常具有成本效益的高速数据中心光纤链路的选择，但数据中心设计者需要考虑更严格的插入损耗要求，并仔细审查光纤组件的损耗值，包

括图 3 所示常见数据中心配置中使用的跳线、预端接光缆、模块和适配器。

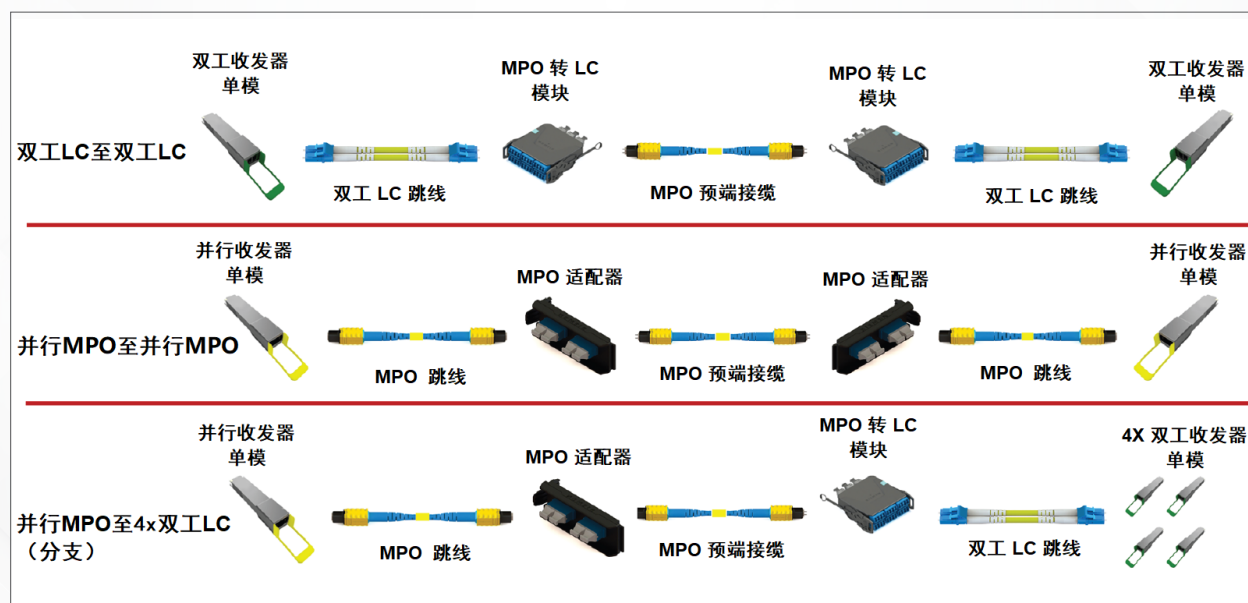
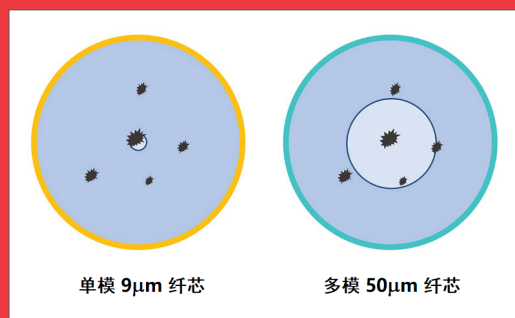


图 3：常见数据中心拓扑结构

单模光纤清洁考虑

光纤端面的清洁度对插入损耗和反射性能都有影响，由于单模光纤的纤芯尺寸较小，因此端面清洁对于单模光纤来说比多模光纤更为关键。单模光纤端面的一粒细小灰尘会阻挡更多的光信号，甚至会阻挡所有的光信号，如本图所示。这正是

IEC 61300-3-35 光纤连接器目测检查标准对单模光纤更严格的原因。例如，多模光纤芯的清洁度标准，对尺寸等于或小于 3 微米 (μm) 的划痕数量，及不超过四个的小于或等于 $5\mu\text{m}$ 的缺陷数量没有限制。相比之下，根据 IEC 61300-3-35 标准单模光纤芯不能包含任何划痕或缺陷。因此，适当的清洁和检查在任何单模光纤部署中都是至关重要的。即使是单模 APC 连接器也需要一个有角度的检查镜头来进行适当的检查。



值得注意的是，插入损耗值因供应商而异，许多供应商提供标准损耗、低损耗和超低损耗的多种系列产品。表 4 显示了四个不同供应商的常用单模光纤组件的不同插入损耗值。由于差异性，数据中心设计者需要为每个组件指定所需的值，或指定他们明确知道会符合这些值的供应商。他们

还需要确保在他们的插入损耗预算计算中使用最大的损耗值，而不是不受保证的典型损耗值（见底栏）。

四家供应商的单模光纤部件插入损耗值				
LC 跳线连接器	供应商 A	供应商 B	供应商 C	供应商 D
标准	0.30 dB	0.67 dB	N/A	N/A
低损耗	0.25 dB	0.45 dB	0.75 dB	0.35 dB
超低损耗 (ULL)	0.20 dB	0.25 dB	0.25 dB	0.25 dB
MPO 预端接连接器	供应商 A	供应商 B	供应商 C	供应商 D
标准	0.60 dB	0.67 dB	N/A	N/A
低损耗	N/A	0.45 dB	0.75 dB	0.75 dB
超低损耗 (ULL)	0.30 dB	0.35 dB	0.35 dB	0.50 dB
MPO-转-LC 模块	供应商 A	供应商 B	供应商 C	供应商 D
标准	1.0 dB	N/A	N/A	0.75 dB
低损耗	N/A	1.05 dB	1.0 dB	N/A
超低损耗 (ULL)	0.50 dB	0.60 dB	0.60 dB	N/A

表 4：不同供应商的损耗值差异很大

插入损耗的典型值和最大值

数据中心设计者通过叠加信道中所有光纤组件的插入损耗值来计算他们的插入损耗预算，包括给定长度的光缆损耗和信道内任何光缆组件、光跳线、光连接器和接头的损耗。这些插入损耗值是由元件供应商公布的，作为其产品规格的一部分。然而，一些供应商同时公布典型值和最大值，而其它供应商可能只公布典型值或只公布最大值。这可能会给设计者带来一些困扰，即在计算插入损耗预算时应使用哪个值。

在计算插入损耗预算时，只应使用最大插入损耗值。这可以确保有足够的余量让光学器件正常运行，并应对各种现场变量，如安装不良的光缆、污损的端面、纤芯错位、老化的发射器和其他因素等。相比之下，典型的插入损耗值主要是出于营销目的，从基于典型端接和研磨技术的产品测试中位数产生。由于典型的损耗值是不保证的，而且可能不是性能的真实指示，设计者应考虑避免使用那些只公布典型损耗值的供应商的组件。

设计者应该意识到，标准损耗连接可能无法支持短距离单模应用的更严格的插入损耗要求。由于信道中的每个连接都会增加插入损耗，设计者还需要仔细考虑支持其首选数据中心设计所需的连接点数量和损耗值，并提供额外的余量以应对各种变量，如安装不良的布线、污损的端面、纤芯错位、老化的发射器和其他因素等。例如，在交换机到交换机的链路内实施交叉连接，就会给一个双连接的信道增加额外的连接点，从而形成一个四连接的信道。

即使是低损耗的连接也会妨碍实施交叉连接和/或提供足够的余量。支持一个信道中便于跳接的交叉连接所需的连接数量，同时也提供额外的余量，只有使用超低损耗连接部件才能得到保证。

在双工应用和分支中常用的 MPO-LC 转换模块或分支组件中尤其如此，因为这些模块/组件包括 MPO 连接器和 LC 连接器的损耗。在表 5 中，很明显，ULL 连接很容易支持满足便于跳接的交叉连接所需的四个连接，并有足够的余量来确保短距离单模 DR 和 FR 应用的性能和可靠性。

单模应用	最大损耗	光纤损耗	MPO-转-LC 模块数量			MPO 适配器数量		
			标准 1.0 dB	低损 0.6 dB	超低损 0.5 dB	标准 0.65 dB	低损 0.45 dB	超低损 0.3 dB
DR	3 dB	0.2 dB	2	4	5	4	6	9
FR	4 dB	0.8 dB	3	5	6	4	7	10

表 5：短距离单模 DR 和 FR 信道中标准损耗、低损耗和超低损耗 MPO-转-LC 模块和 MPO 适配器的数量，基于常见最大损耗值。

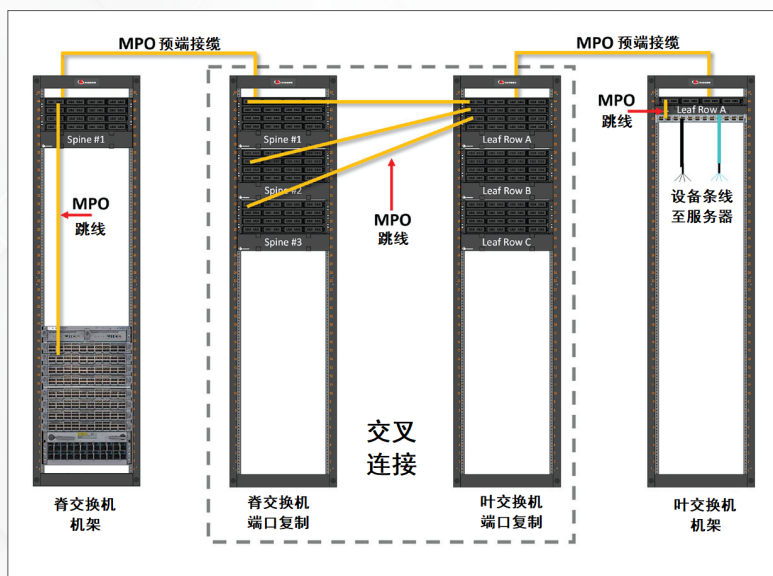


图 4：400GBASE-DR4 信道的交叉连接配置，光配架复制了交换机端口，提供一个“任意到所有”的设计，任意交换机端口可以通过光纤跳线连接到任何其它交换机的端口。

部署交叉连接并确保足够的余量对于数据中心实现灵活性、可管理性、可扩展性，提高部署速度和可靠性至关重要。在交叉连接配置中，光纤配线架复制了交换机端口，以提供“任意到所有”的灵活配置，其中任意交换机端口都可以通过交叉连接处的光纤跳线连接到任何其它交换机端口，如图 4 所示，用于 400GBASE-DR4 脊-叶架构部署。

长期以来，数据中心一直依赖于通过交叉连接实现的“任意对所有”配置，以提供以下效益：

- 更灵活的设计 — 交叉连接实现了动态网络设计，支持创建独立的功能区/服务器集群。
- 更方便的管理和移增改 — 任何交换机端口都可以使用交叉连接处的光纤跳线连接到其他交换机的任何端口。这允许脊交换机端口每次可以连接到任何叶交换机端口，以最大限度地提高端口分配效率，减少闲置的活动端口。
- 更快的部署和扩展 — 新的叶交换机可以很容易地在交叉连接处连接到空置的脊交换机端口。
- 减少潜在的故障可能 — 高密度的连接在交叉连接处很容易管理，避免日后出现可能导致故障的“意大利面条”式布线场景。
- 提升安全 — 在交叉连接中，关键的交换机可以保持安全和不受影响，这对于拥有多个独立的交换机和服务器团队的数据中心，以及对于需要建立安全的电信汇接间(MMR)的托管数据中心特别理想。
- 改善通信流量 — 在虚拟化和软件定义的网络(SDN)环境中，资源往往分布在多个服务器上，交叉连接能够轻松地将分散的资源连接到同一个交换机。

第三方验证的价值

第三方验证可以证明，此组件已经由一个独立认可的第三方机构认证，符合特定的安全、质量或性能标准。当产品通过第三方验证时，认证机构通常在其认可的测试实验室根据公认的行业标准对组件进行随机测试。长期以来，这些验证在培养消费者对整个信息通信行业的信心方面发挥了重要作用，并使数据中心业主和运营商更放心，他们部署的组件将真正符合行业标准，满足供应商的规范，并确保达到他们所要求的性能。

为了验证超低损耗单模连接件的最大插入损耗指标和回波损耗性能，我们委托 Intertek 来进行第三方测试，该公司是一家在信息通信技术行业内值得信赖的著名检验、产品测试和认证公司。

如图 5（第11页）所示，所采用的测试模型在 500 米的 400GBASE-DR4 应用中使用 8 个 MPO 耦合器，在 2000 米的 400GBASE-FR4 应用中使用 5 个 MPO-转-LC 模块和 1 个 MPO 耦合器。请注意，虽然有这么多连接的信道并不常见，但进行测试是为了模拟一种最坏的情况。测试结果清楚地表明，超低损、高性能的连接为两种应用都提供了显著的插入损耗和回波损耗余量。请记住，插入损耗值越低，性能就越好。回波损耗值越高，性能就越好。

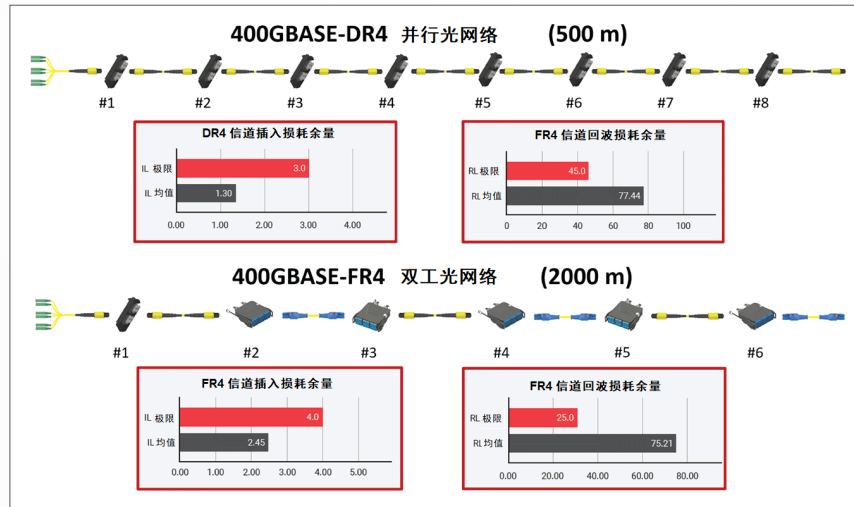


图 5: 400GBASE-DR4 和 400GBASE-FR4 应用的超低损耗高性能单模连接系统的第三方测试结果

如图 6 所示，我们还在 400GBASE-DR4 和 400GBASE-FR4 应用的交叉连接场景下进行了测试，以证明超低损耗组件与标准损耗组件相比的价值。在 DR4 信道中，使用标准损耗组件的布线系统提供了一个非常小的余量。考虑到安装变量，标准损耗系统有可能最终超过 DR4

信道的最大插入损耗允许值 3.0dB，使系统完全无法运行。在使用较高损耗的 MPO-转-LC 模块的 FR4 信道中，使用标准损耗组件超过了最大信道插入损耗允许值 4.0dB，因此无法支持使用方便的交叉连接。

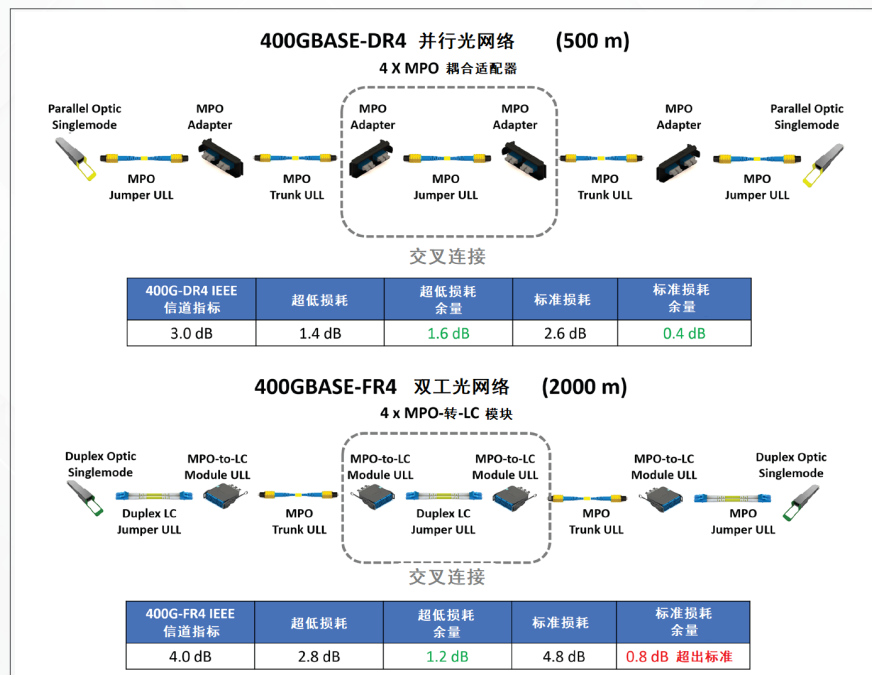


图 6: 用于400GBASE-DR4 和 400GBASE-FR4 交叉连接短距离单模应用的超低损耗和标准损耗连接组件比较。

总结

超大规模数据中心和云数据中心使用单模光纤为新兴应用提供更高的100、200和400Gb/s速率支持，同时超越多模光纤所支持的100米距离的趋势，正在被企业数据中心采纳。较新的短距离单模应用是一个更具成本效益的解决方案，可以将这些速度支持至更远的距离，DR应用支持到500米，FR应用支持到2000米。然而，随着更严格的最大信道插入损耗要求和优异的回波损耗性能的需求，数据中心需要密切关注供应商的插入损耗和回波损耗规范。

为了使数据中心管理者们喜爱的交叉连接配置所能带来的灵活性、可管理性、可扩展性、部署速度和可靠性得到保障，同时确保有足够的余量来适应安装变量，新的短距离单模应用需要超低损耗连接组件。换句话说，在为这些具有成本效益的应用选择组件时，插入损耗很重要。而为了完全放心，数据中心业主和运营商应该考虑第三方测试验证的价值。



关于作者

Gary Bernstein, RCDD, CDCD 是西蒙公司的全球数据中心解决方案专家。他有超过25年的ICT行业经验，在数据中心基础设施、电信、铜缆和光纤结构化布线系统方面有丰富的知识。在Gary的职业生涯中，他曾在工程、销售、产品管理、营销和企业管理方面担任过职务。他一直是TIA TR42.7铜缆布线委员会、TIA TR42.11光纤布线委员会和各种IEEE802.3工作组和研究小组的成员，包括40/100G "ba"、50/100/200G "cd"、200/400G "bs" 和超越400G。Gary曾在一些行业活动中多次发表关于数据中心布线的演讲，包括AFCOM、BICSI、Cisco Live和Datacenter Dynamics。此外，他还在行业出版物上撰写了多篇文章。Gary在亚利桑那州立大学获得了机械工程的科学学士学位。他也是BICSI认证的RCDD 和 Datacenter Dynamics的认证数据中心设计师(CDCD)。

Gary 的邮箱地址为 gary_bernstein@siemon.com



For more information visit:
go.siemon.com/DCSolutions



Find your local Siemon distributor:
go.siemon.com/DCDistributors



24/7 Customer Support:
customer_service@siemon.com

由于我们在持续改进产品，西蒙保留未经事先声明即改变规格和可用性的权利。

North America P: (1) 860 945 4200	Asia Pacific P: (61) 2 8977 7500	Latin America P: (571) 657 1950/51/52	Europe P: (44) 0 1932 571771	China P: (86) 215385 0303	India, Middle East & Africa P: (971) 4 3689743
Siemon Interconnect Solutions P: (1) 860 945 4213 www.siemon.com/SIS	Mexico P: (521) 556 387 7708/09/10				

WWW.SIEMON.COM

WP_OptimizingShortReachSMDeployments_RevA 10/22

