

A BRIEF HISTORY OF MULTIMODE FIBRE

浅述多模光纤的演进之路

通信光纤根据其应用波长下传输模式数量的不同，分为单模光纤和多模光纤。由于多模光纤芯径较大，可以配合低成本光源使用，因此在短距离传输场景下有着极为广泛的应用，如数据中心、局域网等。随着近年来数据中心建设的高速发展，作为数据中心和局域网应用主流的多模光纤也迎来了春天，引起了人们的广泛关注。今天，我们就来聊一聊，多模光纤的发展历程。

按照标准ISO/IEC 11801规范，多模光纤分为OM1、OM2、OM3、OM4、OM5五个大类，其与IEC60792-2-10的对应关系，如表1所示。其中OM1、OM2是指传统的62.5/125μm和50/125μm多模光纤；OM3、OM4和OM5是指新型的50/125μm万兆位多模光纤。

ISO/IEC 11801分类	OM1		OM2		OM3	OM4	OM5
芯径	50	62.5	50	62.5	50	50	50
IEC 60793-2-10 分类对应关系	A1a.1	A1b	A1a.1	A1b	A1a.2	A1a.3	A1a.4

表1 标准对应关系

01 传统多模光纤 CONVENTIONAL MULTIMODE FIBRES

多模光纤的研发始于上个世纪七八十年代，早期的多模光纤包括很多尺寸种类，列入国际电工委（IEC）标准中的尺寸类型包括四种，芯包层直径分为50/125μm、62.5/125μm、85/125μm和100/140μm。由于芯包层尺寸大则制作成本高、抗弯性能差，而且传输模数量增多，带宽降低，因而较大芯包层尺寸的类型逐渐被淘汰，逐渐形成了两种主要的芯包层尺寸，分别是50/125μm和62.5/125μm。

在早期的局域网中，为了尽可能地降低局域网的系统成本，普遍采用价格低廉的LED作光源。由于LED输出功率低，发散角比较大，而50/125μm多模光纤的芯径和数值孔径都比较小，不利于与LED的高效耦合，不如芯径和数值孔径大的62.5/125μm多模光纤能使较多的光功率耦合到光纤链路中去，因此，50/125μm多模光纤在20世纪90年代中期以前不如62.5/125μm多模光纤那样得到广泛的应用。

随着局域网传输速率不断升级，自20世纪末以来，局域网向1Gb/s速率以上发展，以LED作光源的62.5/125μm多模光纤仅仅几百兆的带宽逐渐不能满足要求。相比之下，50/125μm多模光纤数值孔径和芯径较小，传导模式也较少，因而有效地降低了多模光纤的模式色散，使得带宽得到了显著的增加，由于芯径较小，50/125μm多模光纤的制作成本也更低，因此重新得到了广泛的应用。

IEEE 802.3z千兆以太网标准中规定50/125μm多模和62.5/125μm多模光纤都可以作为千兆以太网的传输介质使用。但对新建网络，一般首选50/125μm多模光纤。

02 激光优化的多模光纤 LASER OPTIMIZED MULTIMODE FIBRES

随着技术的发展，850nm VCSEL(垂直腔体表面发射激光器)出现。VCSEL激光器比长波长激光器价格更低，同时能够提高网络速率，因此获得了广泛应用。由于两种发光器件的不同，必须对光纤本身进行改造，以适应光源的变化。

为了VCSEL激光器需要，国际标准化组织/国际电工委员会（ISO/IEC）和美国电信工业联盟（TIA）联合起草了新一代纤芯为50μm的多模光纤的标准。ISO/IEC在其所制定的新的多模光纤等级中将新一代多模光纤划为OM3类别(IEC标准为A1a.2)，即为激光优化的多模光纤。

后续出现的OM4光纤，实际是OM3多模光纤的升级版。OM4标准与OM3光纤相比，只是在光纤带宽指标做了提升。即OM4光纤标准在850nm波长的有效模式带宽（EMB）和满注入带宽（OFL）相比OM3光纤都做了提高。如下表2所示。

光纤类型	满注入带宽 (MHz·km)		有效模式带宽 (MHz·km)	
	850nm		850nm	
OM3	≥1500		≥2000	
OM4	≥3500		≥4700	

表2 OM3和OM4光纤对比

多模光纤内传输模式众多，随之还带来光纤抗弯曲性能的问题，当光纤弯曲时，高阶的模式极易泄露出去，造成信号的损失，即光纤的弯曲损耗。随着室内应用场景不断增多，多模光纤在狭窄环境下的布线，对其抗弯曲性能也提出了更高要求。

不同于单模光纤简单的折射率剖面结构，多模光纤的折射率剖面十分复杂，需要极为精细的折射率剖面设计与制作工艺。在目前国际主流的四大预制棒制备工艺中，制备多模光纤最为精密的是等离子体化学气相沉积（PCVD）工艺，以长飞公司为代表。该工艺不同于其他工艺，其沉积层数多达几千层，且沉积时每层仅约1微米的厚度，能够实现超精细的折射率曲线控制，从而实现高带宽。

通过对多模光纤折射率剖面的优化，现在的弯曲不敏感多模光纤，其抗弯性能有了显著提升，如下图1所示。

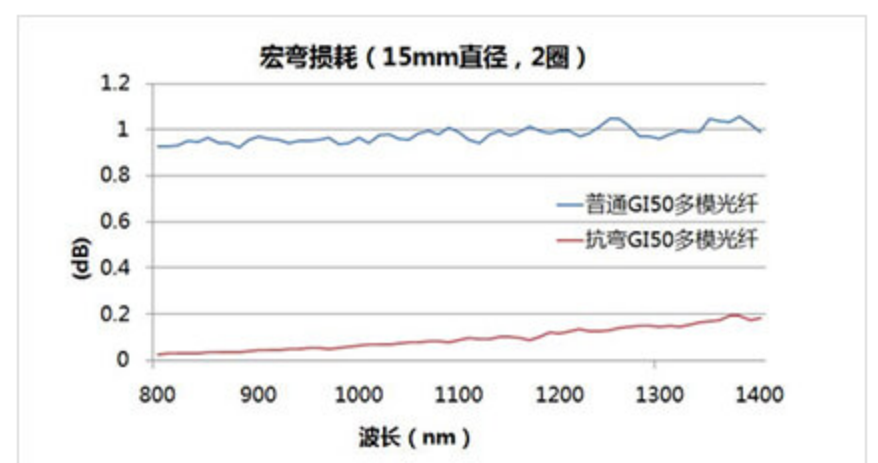


图1 抗弯多模光纤与常规多模光纤宏弯性能比较

03 新型多模光纤 (OM5) NOVEL MULTIMODE FIBRE (OM5)

OM3光纤和OM4光纤，都是主要应用于850nm波段的多模光纤。随着传输速率的不断提升，仅仅单通道的波段设计，会带来越来越密集的布线成本，随之的管理维护成本也相应升高。因此，技术人员尝试将波分复用概念引入多模传输系统中，如果能够在同一根光纤上传输多个波长，则相应的并行光纤根数和铺设、维护成本都能大幅下降。在此背景下，OM5光纤应运而生。

OM5多模光纤，是在OM4光纤基础上，拓宽了高带宽通道，其能够支持850nm~950nm波段的传输应用。目前主流的应用，是SWDM4和SR4.2设计。SWDM4是4个短波的波分复用，分别是850nm、880nm、910nm和940nm。这样在一根光纤可以支撑此前4根并行光纤的业务。SR4.2是两波分复用，主要用于单纤双向技术。OM5能够与性能好成本低的VCSEL激光器配合，以更好的满足数据中心等短距离通信。下表3是OM4和OM5光纤的主要带宽指标对比。

光纤类型	满注入带宽 (MHz·km)		有效模式带宽 (MHz·km)	
	850nm	953nm	850nm	953nm
OM4	≥3500	无要求	≥4700	无要求
OM5	≥3500	≥1850	≥4700	≥2470

表3 OM4和OM5光纤带宽指标对比

目前，OM5光纤作为一种最新型的高端多模光纤，已有了许多应用案例。其中最大的一个商业案例，是长飞公司和中国铁路总公司主数据中心的OM5商用案例。该数据中心瞄准了OM5光纤在SR4.2上的波分系统应用优势，使用最低的成本，实现了最大容量的通信，也为未来进一步升级速率做了准备，未来提升速率至100Gb/s乃至400Gb/s，或者拓宽波段应用时，可以不再更换光纤，能够显著降低未来升级成本。

总结：随着应用的需求不断提高，多模光纤在朝着低弯曲损耗，高带宽，多波长复用的方向发展，其中，最具有应用潜力的，当属OM5光纤，其具有目前多模光纤最优的性能，为未来100Gb/s和400Gb/s的多波长系统提供了有力的光纤解决方案。此外，为适应高速率，高带宽，低成本的数据中心通信的要求，新型的多模光纤，如单多模通用光纤，也正在研发中。未来，长飞公司将和业内同行一道推出更多的新型多模光纤解决方案，给数据中心和光纤互联带来新的突破和更低的成本。