

光纤标准与光纤类型选择

张庆安

(中国移动通信集团设计院有限公司 北京 100080)

摘要 本文根据最新光纤技术标准,对常用光纤的技术性能做了详细的比较与分析,并结合通信技术的发展趋势,提出了在光纤基础网络建设中,光纤选型的一些原则和建议。

关键词 光纤 衰减 色度色散 偏振模色散

1 概述

光缆物理网络是通信网最基础的传送承载设施,遍布于从长途骨干网到城域网、接入网的所有网络层次,光缆网络的可靠性和光纤的技术指标直接影响通信全网的运行质量。而且,光缆物理网的建设易受到各种外界因素的制约,不仅工程的建设周期长,建设成本高,而且使用寿命久(25年以上)。因此,光缆基础网络的建设,必须具有前瞻性,要统筹考虑各种因素,以达到优化光缆网络、简化程式类型、降低建设成本、支撑业务发展的目标,确保投资效益最大化。

本文根据最新光纤技术标准,着重讨论在光缆网络建设中,必须考虑的最关键的光纤技术及选型问题。

2 光纤技术的发展趋势

2.1 光纤分类

根据使用的场合,光纤可以分为两大类:传输光纤和特种光纤。特种光纤主要应用于光器件中,本文不作讨论;传输光纤主要分为多模光纤和单模光纤两大类。光纤分类见图1所示。

不同种类的光纤具有不同的光学特性,可以方便地应用在不同场合,光纤特性对通信影响较大的因素主要

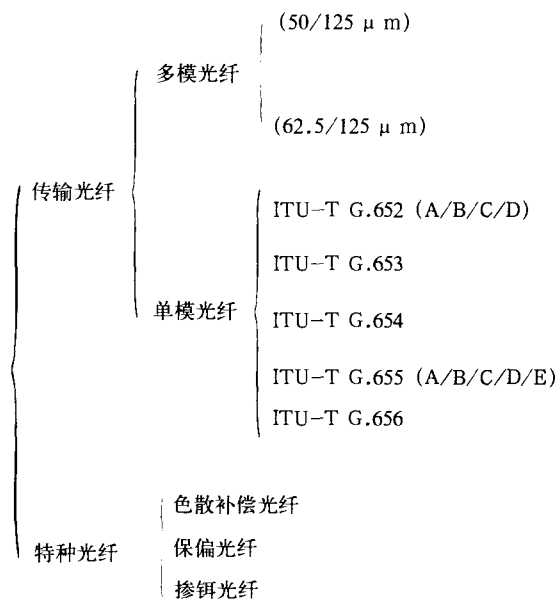


图1 光纤分类

包括衰减、色度色散和偏振模色散(PMD)等指标。

2.2 多模光纤特性比较

多模光纤是指可以传输多个光传导模的光纤。

多模光纤主要有62.5/125 μm和50/125 μm两种类型,最早广泛应用的是62.5/125 μm多模光纤,随着光纤制造技术、光器件以及带宽需求的发展,新一代50/125 μm多模光纤应运而生。之所以新型多模光纤采用50 μm芯径是因为这种光纤中传输模的数目大约

是 62.5 μm 多模光纤中传输模的 1/2.5, 因此可以有效降低多模光纤的模式色散, 增加带宽。对 850nm 波长, 50/125 μm 比 62.5/125 μm 多模光纤带宽可增加 3 倍 (500MHz·km/160MHz·km)。按 IEEE 802.3 标准推荐, 在 1Gbit/s 速率下, 62.5 μm 芯径多模光纤只能传输 270m; 而 50 μm 芯径多模光纤可传输 550m。实际上最近的实验证实: 使用 850nm 垂直腔面发射激光器 (VCSEL) 作光源, 在 1Gbit/s 速率下, 50 μm 芯径新一代多模光纤可无误码传输 2000m; 在 10Gbit/s 下, 50 μm 芯径新一代多模光纤可传输 600m, 而 62.5 μm 芯径多模光纤传输距离不足百米。

采用 50 μm 芯径的另一个原因是以前人们看中 62.5 μm 芯径多模光纤的优点, 随技术的进步已变得无关紧要。在 20 世纪 80 年代初中期, LED 光源的输出功率低, 发散角大, 连接器件损耗大, 使用芯径和数值孔径大的光纤以使尽可能多光功率注入是必须考虑的。而当时似乎没人想到局域网速率可能会超过 100Mbit/s, 即对多模光纤的带宽性能要求并不突出。现在由于 LED 输出功率和发散角的改进、连接器件性能的提高, 尤其

是使用了 VCSEL, 光功率注入已不成问题。芯径和数值孔径已不再像以前那么重要, 而 10Gbit/s 的传输速率成了主要矛盾, 可以提供更高带宽的 50 μm 芯径多模光纤则倍受青睐。因此, 50 μm 芯径多模光纤将成为主流应用光纤。

多模光纤芯径较大, 色散大, 衰减高, 传输距离短, 但其易于连接, 相关器件便宜, 操作简单可靠; 因此, 其主要应用在接入网和局域网等短距离场合。

2.3 单模光纤特性比较

单模光纤是指只传输一个光传导模 (基模) 的光纤。其主要优点是衰减较小, 传输距离长, 传输容量大, 在长途骨干网、城域网、接入网等场合均有广泛应用。

单模光纤中, ITU-T G.654 是损耗最小光纤, 主要在海缆中采用; ITU-T G.653 为零色散位移单模光纤, 除在日本等有所应用外, 没有进入主流应用产品。主流应用的光纤为 ITU-T G.652 和 G.655 两种。

2.3.1 G.652 A/B/C/D 型光纤性能比较

G.652 A/B/C/D 型光纤性能比较见表 1。

表 1 最新标准 G.652 A/B/C/D 型光纤性能主要参数比较表

项目名称	单位	G.652 A	G.652 B	G.652 C	G.652 D	备注
发布日期		1997 年	1997 年	1997 年	2003 年	
光纤属性						
截止波长	nm	≤ 1260	≤ 1260	≤ 1260	≤ 1260	
模厂直径 (1310nm)	μm	(8.6~9.5) ± 0.7	(8.6~9.5) ± 0.7	(8.6~9.5) ± 0.7	(8.6~9.5) ± 0.7	
包层直径	μm	125 ± 1	125 ± 1	125 ± 1	125 ± 1	
包层不圆度	%	≤ 2	≤ 2	≤ 2	≤ 2	
芯同心度误差	μm	≤ 0.8	≤ 0.8	≤ 0.8	≤ 0.8	
宏弯损耗 (1625nm、100 圈、半径 30mm)	dB	≤ 0.5	≤ 0.5	≤ 0.5	≤ 0.5	
色度色散	零色散波长范围	nm	1300~1324	1300~1324	1300~1324	1300~1324
	最大零色散点斜率	ps/nm ² ·km	0.093	0.093	0.093	0.093
光缆属性						
衰减	1310~1625nm 范围内最大衰减值	dB/km	N/A	N/A	≤ 0.4	≤ 0.4
	(1383 \pm 3) nm 最大衰减值	dB/km	N/A	N/A	见注	见注
	1310nm 最大衰减值	dB/km	≤ 0.5	≤ 0.4	N/A	N/A
	1550nm 最大衰减值	dB/km	≤ 0.4	≤ 0.35	≤ 0.3	≤ 0.3
	1625nm 最大衰减值	dB/km	N/A	≤ 0.4	N/A	N/A
偏振模色散 (20 盘链路 PMD)	ps/ $\sqrt{\text{km}}$	≤ 0.5	≤ 0.2	≤ 0.5	≤ 0.2	

注: 在波长 (1383 \pm 3) nm 的抽验衰减平均值应不大于按照对于 IEC 60793-2-50 规定的单模光纤经过氢气老化试验后在 1310nm 的规定值。

根据表1的比较可以看出:

G.652 A/B/C/D 的划分主要根据对PMD 的要求和水峰(1383nm)处的衰减的要求不同。

G.652 C/D与G.652 A/B的主要区别: G.652 C/D型光纤规定了1383nm波长的衰减特性,并且,该指标应当是经过氢老化试验的结果; G.652 C/D规定了1310~1625nm整个波长范围的衰减特性; G.652 C/D规定的在1550nm的最大衰减系数比普通单模光纤的指标低0.05dB/km到0.1dB/km。而G.652 A/B型光纤对以上3项无具体要求。

G.652 A与G.652 B的主要区别: G.652 B型光纤的衰减和偏振模色散(PMD)两项指标均比G.652 A型光纤小,因此,目前主流应用G.652 B型光纤。

G.652 C与G.652 D的主要区别: G.652 D型光纤的偏振模色散(PMD)指标均比G.652 C型光纤小,且G.652 D型光纤的水峰衰减值更小,因此,主流应用G.652 D型光纤。

随着光纤制造工艺的进步, G.652 D型光纤和G.652 B型光纤价格差距已很小,几乎可以忽略不计,而G.652 D型光纤的可用带宽范围比G.652 B型光纤

更广,对未来通信系统发展的支撑更好,且指标控制比G.652 B更严格,所以,自2005年以来, G.652 D型光纤的应用得到迅速普及,且有完全取代G.652 B型光纤的趋势。

2.3.2 G.655 A/B/C/D/E 及 G.656 光纤性能比较

G.655 A/B/C/D/E及G.656光纤性能比较详见表2。

根据表2的比较可以看出:

G.655 A/B/C/D/E 的划分主要根据对PMD 的要求不同, G.655 A/B型光纤的PMD值较大, G.655 C/D/E型光纤的PMD值较小, G.655 C型光纤与G.655 D/E型光纤的差别不大,只是G.655 D/E型的光纤拓宽了色散容限,包层不圆度等指标更严格一些,在实际应用中后两种光纤目前尚不能体现更大优势,且G.655 C型光纤已得到广泛应用,技术非常成熟,因此, G.655 C型光纤依然是主流商用的首选。

G.656光纤首先是符合G.655标准的光纤,但自从G.656光纤问世以来,几乎没有被采用过,主要有以下原因:

(1) G.656光纤具有较大色散(介于G.655与

表2 最新G.655、G.656标准光纤性能主要参数比较表

项目名称	单 位	G.655 A	G.655 B	G.655 C	G.655 D	G.655 E	G.656	
发布日期		1996年	2000年10月	2003年3月	2006年3月	2006年3月	2004年6月	
光纤属性								
截止波长	nm	≤ 1450nm	≤ 1450nm	≤ 1450nm	≤ 1450nm	中度色散	+2.0~+14.0	
色度色散	1460~1625nm ps/nm·km	N/A	N/A	N/A	低度色散		N/A	
色散	1530~1565nm ps/nm·km	0.1~6.0	1.0~10.0	1.0~10.0		(8~11)	(7~11)	
模厂直径(1550nm)	μ m	(8~11)±0.7	(8~11)	(8~11)	(8~11)	±0.6	±0.7	
	μ m	125±1	±0.7	±0.7	±0.6	125±1	125±1	
包层直径	%	≤ 2	125±1	125±1	125±1	≤ 1	≤ 2	
包层不圆度	μ m	≤ 0.8	≤ 2	≤ 2	≤ 1	≤ 0.6	≤ 0.8	
芯同心度误差	dB	≤ 0.5	≤ 0.8	≤ 0.8	≤ 0.6	≤ 0.5	≤ 0.5	
宏弯损耗(1625nm、100圈、半径30mm)			≤ 0.5	≤ 0.5	≤ 0.5			
光缆属性								
衰减	1460nm	dB/km	N/A	N/A	N/A	N/A	≤ 0.35	≤ 0.35
	1550nm	dB/km	≤ 0.35	≤ 0.35	≤ 0.35	≤ 0.35	≤ 0.4	≤ 0.4
	1625nm	dB/km	N/A	≤ 0.4	≤ 0.4	≤ 0.4	≤ 0.2	≤ 0.2
偏振模色散(20盘链路PMD)	ps/√km	≤ 0.5	≤ 0.5	≤ 0.2	≤ 0.2			

表3 受色散限制的无中继距离大致理论值 ($B[\text{Gbit/s}]^2 \times L[\text{km}] \times D[\text{ps/ns} \cdot \text{km}] = 10^5$)

速率	1550nm (G.652)	1550nm (G.655)	1310nm (G.655)	1310nm (G.652)
2.5Gbit/s	928km	4528km	不可用	6400km
10Gbit/s	58km	283km	不可用	400km
40Gbit/s	3.6km	18km	不可用	25km

注: 1. 对高速传输系统来说, 色散并非越小越好, 否则会存在非线性效应, 降低系统性能;

2. 色散斜率同样重要, 大的斜率会导致边缘信道的色散累积量差别的增大, 同样会影响系统性能。

G.652之间), 并未针对1550或1310窗口传输优化;

(2) G.656光纤有较小的模厂直径, 对熔接较敏感, 因此安装更困难, 费用更高, 与G.655光纤相比在消除非线性效应上的效果较差;

(3) 在2004年中确立了ITU-T G.656标准后, G.656标准逐渐为大家所认知, G.656虽是新的光纤标准, 但是它是为了使用S波段及解决NZDSF光纤过密的信道间隔发展而提出的标准。但这些技术并非目前或未来的技术发展方向, 且目前尚没有设备厂家有针对性地开发相应设备。

因此, G.656光纤并非运营商的首选, G.655标准仍是应用的主流, 市场也没有出现转向G.656光纤的迹象。

2.3.3 G.652与G.655光纤性能比较

(1) 光纤衰减对传输系统的影响

根据表1和表2的比较可以看出: G.652光纤和G.655光纤在1550nm窗口的衰减系数几乎一样, 在实际测试中也验证了这样的结论, 因此, 在此窗口, 其对系统的影响可以认为是一样的。而在1310nm窗口, G.652光纤可用, 而G.655光纤在此窗口不可用, 尤其是在城域网传输系统中, 此窗口就显得更为重要, 因1310nm激光器的价格比1550nm便宜得多, 其成本优势就更为明显。

(2) 光纤色散对传输系统的影响

两种光纤相关色散指标对系统应用情况影响列于表3和表4(表中的数值均在不考虑光纤的非线性情况下得出的)。

从表3和表4可以看出:

对于1550nm窗口, 在不采取色散补偿, 传输同样速率且忽略光纤非线性影响情况下, 在G.655光纤上无中继传输距离比在G.652光纤上传输距离大数倍。

G.652光纤在1310nm窗口的无中继传输距离虽然也比较大, 但由于在该窗口色散为零, 非线性效应大, 衰减亦较大, 实际应用中限制了传输距离, 因此, 长距离传输系统中, 主要应用其1550nm窗口, 而在城域网传输中则常用其1310nm窗口。

表4 受PMD色散限制的无中继距离大致理论值 ($B[\text{Gbit/s}]^2 \times L[\text{km}] \times \text{PMD}[\text{ps}/\sqrt{\text{km}}]^2 = 10^4$)

PMD速率	3	1	0.5	0.2
2.5Gbit/s	180km	1600km	6400km	4000km
10Gbit/s	11km	100km	400km	2500km
40Gbit/s	<1km	6km	25km	156km

G.652光纤的色散系数在1550nm波长为18~20ps/nm·km, 当传输10Gbit/s的TDM和WDM系统时, 为了增加中继距离, 需要介入具有负色散系数的光纤进行色散补偿; G.655光纤1530~1560nm波长区色散通常为1.0~6ps/nm·km, 传输相同的10Gbit/s系统时, 因色散低, 无需采取色散补偿措施或进行少量色散补偿, 其克服了G.652光纤在1550nm波长范围内色散值过大的缺点; 而G.655光纤因在1550nm处色散较小, 其非线性效应比G.652光纤大得多。传输40Gbit/s传输系统时, 无论采用G.652光纤还是G.655光纤, 均需要付出补偿代价, 而色散补偿器件的成本相差无几。

PMD色散对系统的影响, 速率越高, 影响越显著。G.652和G.655光纤的PMD建议指标相同。因此, 二者对系统的影响基本可以认为没有差别。

(3) 光纤非线性对传输系统的影响

光纤的非线性效应主要包括: 自相位调制(SPM)、交叉相位调制(XPM)、四波混频(FWM)、受激拉曼散射(SRS)、受激布里渊散射(SBS)等。非线性效应

一般在 WDM 系统上反映较多,在 SDH 系统上反映较少,因为在 WDM 设备系统中,由于合波器、分波器的插入损耗较大,需采用放大器进行放大补偿,在放大光功率的同时,也使光纤中的非线性效应大大增加,成为影响系统性能,限制中继距离的主要因素之一。

光纤通信的高速发展,对网络容量的需求也在不断增长。就目前技术发展趋势看,长途传输系统倾向于单信道 40Gbit/s DWDM 方向发展,且 SDH 层面逐渐边缘化,而 IP over DWDM 逐渐成为长途承载网的主要组网方式。因此,在进行系统设计时,必须考虑光纤非线性对系统的影响。

非线性效应对系统影响较大的主要是 SPM、XPM 和 FWM 等因素。对于长途传输系统而言,其主要特点是传输距离长,光纤跨段 (SPAN) 数多。XPM 和 FWM 的累积与 SPAN 数的平方根成正比,与信道间隔成反比;且色散越小,影响越大,因此,其在 G.655 光纤中比 G.652 光纤中要显著得多。而 SPM 随 SPAN 数而线性增加。定量地说,SPM 可以用信号光功率密度产生的光脉冲的相位偏移来描述: $\phi_{\text{SPM}} = \gamma \cdot P \cdot L \cdot N$ 。其中, γ 是非线性耦合系数,具体数值与光纤有关, P 是入纤光功率, L 是非线性相互作用的有效长度, N 是 SPAN 数。由于 G.655 光纤的截面相对较小,因而 G.655 光纤的非线性耦合系数比 G.652 光纤要大许多, SPM 在 G.655 光纤中比 G.652 光纤中影响也要大得多。因此,在 G.655 光纤上开通超长距离传输,技术挑战性更大。

(4) 供货商与价格因素

无论是 G.655 光纤还是 G.652 光纤,其技术均十

分成熟,均有较多供货商供货,竞争比较充分,不存在价格垄断、供货量等问题。G.655 光纤本身的价格一直远远高于 G.652 光纤的价格 (高 50%~100%)。

综合 ITU-T 的建议发展以及国内外的市场应用,20 世纪 90 年代,基于单系统的组网应用,主要采用 G.652 常规光纤,2000 年左右,由于 DWDM 系统的高速率、多通道的应用,考虑到色散补偿的因素,全球大范围大量使用了 G.655 光纤。随着后期设备厂家的技术改进、补偿技术走向成熟,补偿成本的大幅度降低,同时考虑到其他非线性因素的影响,采用 G.655 光纤开通相同的系统已没有综合成本优势,因而逐步又回归到了 G.652 (G.652 B/D) 型光纤。

3 结论

通过以上综合分析可以给出在光缆基础网络建设中的光纤选型应遵循的基本原则:

在接入网中,接入距离一般在 1km 范围内,因此,在接入网网络建设中,尽可能选用 50/125 μm 型多模光纤降低综合建设成本;

在城域传输网、长途传输网的光纤网络建设中,采用 G.652 (B/D) 光纤完全可以满足通信需求,在 G.652 B 和 G.652 D 型光纤价格相差不大的情况下优先选用 G.652 D 型光纤。

除为满足已有系统的需要和已有光缆的增补改造之外,在光纤基础网的建设中,原则上不建议新建光缆采用 G.655 型光纤。

(收稿日期:2008 年 2 月 26 日)

Optical Fiber Performance and Optical Fiber Type Selection

Zhang Qingan

(China Mobile Group Design Institute Co., Ltd., Beijing 100080)

Abstract The article analyzes all characteristics of optical fiber, and developing tendency of optical communication technology, in the mean time, summaries the points on optical fiber selection in optical cable transmission network construction.

Keywords optical fiber, attenuation, chromatic dispersion, polarization mode dispersion