

G. 657 光纤在 FTTx 中的应用

杨晨 韩庆荣 李婧 刘璐

1. 引言

随着视频点播、高清电视、网上办公、在线游戏、网络购物、网络通话等业务的快速发展，人们对带宽的需求越来越高。通信光纤以其高带宽、高速率、大容量等优点，使得其在与通信铜线相比较时，成为满足人们日益增长的带宽需求的首选传输介质。光纤通信网络的最终发展目标是将光纤直接与用户的终端设备进行连接，也就是我们通常所说的光纤到户（FTTx）。可以说，FTTx 也是整个电信网中接入网部分的发展目标。随着系统、光器件、光纤、设备、仪器、通信协议与标准等相关技术的迅猛发展，FTTx 已经由遥不可及的理想成为触手可及的现实。

FTTx 技术主要用于接入网络光纤化，范围从区域电信机房的局端设备到用户终端设备，局端设备为光线路终端(Optical Line Terminal; OLT)、用户终端设备为光网络单元(Optical Network Unit; ONU)或光网络终端(Optical Network Terminal; ONT)。根据光纤到用户的距离来分类，主要可以分成光纤到交换箱(Fiber To The Cabinet; FTTCab)、光纤到路边(Fiber To The Curb; FTTC)、光纤到大楼(Fiber To The Building; FTTB)及光纤到户(Fiber To The Home; FTTH)等 4 种服务形态。

目前 FTTx 的建设主要集中在北美、亚洲和欧洲

等地区，北美洲的代表国家为美国，亚洲的代表国家有日本、韩国等，欧洲的代表国家有荷兰、法国等。我国从 2003 年开始启动 FTTx 的试点建设，由于 2008 年北京奥运会和 2010 年上海世博会的强有力推动，FTTx 的发展势头良好。目前国内部分城市已经推出成熟的 FTTx 业务，可以为小区居民提供 20M 以上的带宽业务服务。

2. FTTx 对于光纤的要求

FTTx 的特点在于接入网的最后 1km 甚至最后 100m 使用光纤光缆作为传输介质，而不是传统的通信电缆。与在长途通信骨干网或者城域网中的光纤不同，接入网对所使用的光纤有着更为严格的要求。因为光纤在最后 1km 的敷设中往往布线线路更为复杂，比如会遇到过直角弯、机箱内光纤盘留或者室内布线等情形。在这种情况下，要求所使用的光纤与目前大量使用的常规 G. 652 单模光纤相比，有着更为良好的抗弯曲性能。光纤即使处于非常恶劣的弯曲环境时，其弯曲附加损耗仍然要求保持较小，而且其处于长期弯曲状态下的机械性能要求能够得到保证。为了保证与目前网络中的常规 G. 652 光纤的兼容性，往往还要求 FTTx 所使用的光纤具有与 G. 652 光纤一致的衰减性能、色散性能和良好的接续性能等。目前大规模使用的 G. 652 单模光纤，其最小弯曲半径为 30mm，当弯曲半径小于 30mm 时，其由弯曲引起的损耗会急剧的增

加，同时其断裂风险也会增加，其性能远远不能满足 7.5mm 甚至 5mm 弯曲半径的实际应用的需要。

3. 适用于 FTTx 建设的 G. 657 光纤

ITU-T 为了规范接入网用单模光纤的指标要求，于 2006 年 12 月发布了《接入网用弯曲损耗不敏感单模光纤和光缆的特性》的标准建议，即 G. 657 光纤标准，并于 2009 年 12 月根据标准的实际使用情况和各方面的反馈信息，发布了修订后的第二版本。在新版

本的标准建议中，按照是否与 G. 652 光纤兼容的原则，将 G. 657 光纤划分成了 A 大类和 B 大类光纤，同时按照最小可弯曲半径的原则，将弯曲等级分为 1, 2, 3 三个等级，其中 1 对应 10mm 最小弯曲半径，2 对应 7.5mm 最小弯曲半径，3 对应 5mm 最小弯曲半径。结合这两个原则，将 G. 657 光纤分为了四个子类，G. 657. A1、G. 657. A2、G. 657. B2 和 G. 657. B3 光纤，具体分类如表 1 所示，其关键技术指标如表 2 所示。

表 1. G. 657 光纤四个子类

ITU-T G. 657 (2009)	A 类 (要求与 G. 652 完全兼容)	B 类 (不要求与 G. 652 完全兼容)
弯曲等级 1 (最小弯曲半径 10 mm)	G. 657. A1	--
弯曲等级 2 (最小弯曲半径 7.5mm)	G. 657. A2	G. 657. B2
弯曲等级 3 (最小弯曲半径 5 mm)	--	G. 657. B3

表 2. G. 657 光纤关键参数的技术指标

特性	单位	技术指标												
		G. 657. A1		G. 657. A2			G. 657. B2			G. 657. B3				
1310nm 模场直径	μm	(8.6-9.5) ±0.4		(8.6-9.5)±0.4			(6.3-9.5)±0.4			(6.3-9.5) ±0.4				
未成缆光纤的宏弯损耗	弯曲半径	mm	15	10	15	10	7.5	15	10	7.5	10	7.5	5	
	弯曲圈数	-	10	1	10	1	1	10	1	1	1	1	1	
	1550 nm 最大值	dB	0.25	0.75	0.03	0.1	0.5	0.03	0.1	0.5	0.03	0.08	0.15	
	1625 nm 最大值	dB	1.0	1.5	0.1	0.2	1.0	0.1	0.2	1.0	0.1	0.25	0.45	
衰减特性	1310nm ~ 1625nm	dB/km	≤0.4						≤0.5					
	1383 nm ±3 nm	dB/km	≤0.4						不规定					

特性		单位	技术指标			
			G. 657. A1	G. 657. A2	G. 657. B2	G. 657. B3
	1550 nm	dB/km	≤0.3		≤0.3	
色散特性	零色散波长	nm	1300~1324		不规定	
	零色散斜率	ps/nm ² × km	≤0.092			
偏振模色散特性	M	-	20		不规定	
	Q	-	0.01%			
	PMD _Q 最大值	ps/km ^{1/2}	≤0.20			

从以上两个表格可以看出，A 大类光纤的宏弯性能较 G. 652 光纤明显改善的同时，特别强调了与 G. 652 光纤的兼容性，而 G. 657. A2 比 G. 657. A1 对宏弯性能的要求更为严格。B 大类光纤主要用于短距离的通信，比如室内布线或器件内，对色散和偏振模色散都没有特殊要求，同时允许更大的衰减系数。

G. 657 光纤与 G. 652 光纤相比具有显著改善的抗弯曲性能，因此更加适合于 FTTx 中的应用。G. 657 光纤在恶劣的弯曲布线环境中，因为其良好的抗弯曲性能，其功率损失仍然可以很好的控制在整个通信系统的功率预算范围之内。同时各大光纤光缆制造厂家非常关注 G. 657 光纤在长期小弯曲半径状态下的机械可靠性能，不断通过产品和工艺改进来提高光纤的机械性能，保证光纤的长期使用寿命。

长飞公司于 2004 年开始致力于弯曲不敏感单模光纤的研究和开发，并于 2006 年成功推出了 EasyBand®系列 G. 657 光纤产品。该产品随后大量运用于国内外 FTTx 工程应用中，得到了市场和客户的普遍认可，并且长飞公司一直在对该产品进行持续的优化和改进。长飞公司将产品研发和实际应用相结合，着力于向客户提供最适合 FTTx 应用要求、性价比高、质量性能卓越的产品。长飞公司有多位光纤和光缆行业的专家积极参与 ITU-T 等国际标准的制修订，将长飞公司在 FTTx 应用中积累的先进技术和经验带到国际标准的研究和讨论中，同时也掌握了国际技术发展的最新动态和信息。长飞公司 EasyBand®系列 G. 657 光纤产品与 ITU-T 最新标准建议中产品分类的对应关系在表 3 中进行了说明。

表 3. 长飞 EasyBand®系列光纤与 ITU-T G. 657 标准对应关系

EasyBand®系列 产品满足 或优于	ITU-T G. 657 (2009 年最新版本)					ITU-T G. 657 (2006 年版 本)		ITU-T G. 652. D
	A1	A2	B2	B3	A3 (f. f. s*)	A	B	
EasyBand®	√					√		√
EasyBand® Plus	√	√	√			√	√	√
EasyBand® Ultra	√	√	√	√	√	√	√	√

*: f. f. s, for further study

长飞公司 EasyBand®系列 G. 657 光纤的关键

技术指标如表 4 所示:

表 4. EasyBand®系列 G. 657 光纤的关键技术指标

光纤类别	G. 652. D&G. 657. A1	G. 652. D&G. 657. A2	G. 652. D&G. 657. B3
品牌	EasyBand®	EasyBand® Plus	EasyBand® Ultra
模场直径@1310nm(μm)	8.8±0.4	8.8±0.4	8.6±0.4
零色散波长点 (nm)	1300-1324	1300-1324	1300-1324
零色散波长点斜率 (ps/nm ² . km)	≤0.092	≤0.092	≤0.092
衰减@1310nm (dB/km)	≤0.35	≤0.35	≤0.35
衰减@1383nm (dB/km)	≤0.35	≤0.35	≤0.35
衰减@1550nm (dB/km)	≤0.21	≤0.21	≤0.21
衰减@1625nm (dB/km)	≤0.23	≤0.23	≤0.23
光缆截止波长 (nm)	≤1260	≤1260	≤1260
5mm 半径 1 圈宏弯损耗 @1550nm(dB)	未规定	未规定	≤0.15
5mm 半径 1 圈宏弯损耗 @1625nm(dB)	未规定	未规定	≤0.45
7.5mm 半径 1 圈宏弯损耗 @1550nm(dB)	未规定	≤0.5	≤0.08
7.5mm 半径 1 圈宏弯损耗 @1625nm(dB)	未规定	≤1.0	≤0.25
10mm 半径 1 圈宏弯损耗 @1550nm(dB)	≤0.75	≤0.1	≤0.03
10mm 半径 1 圈宏弯损耗	≤1.5	≤0.2	≤0.1

光纤类别	G. 652. D&G. 657. A1	G. 652. D&G. 657. A2	G. 652. D&G. 657. B3
@1625nm (dB)			
15mm 半径 10 圈宏弯损耗 @1550nm (dB)	≤0.25	≤0.03	未规定
15mm 半径 10 圈宏弯损耗 @1625nm (dB)	≤1.0	≤0.10	未规定

EasyBand®系列光纤采用先进的 PCVD 工艺实现光纤的下陷包层设计，在保证与 G. 652 光纤兼容的同时，可以显著改善光纤的抗弯曲性能。同时先进的材料设计和制造工艺，以及性能优越的光纤涂料，使得光纤的机械性能得以改进。 n_0 值是影响光纤寿命的主要参数之一，EasyBand®系列光纤 n_0 值的典型值为 27，完全可以保证光纤在 5mm 弯曲半径以上时，25 年以上的使用寿命。

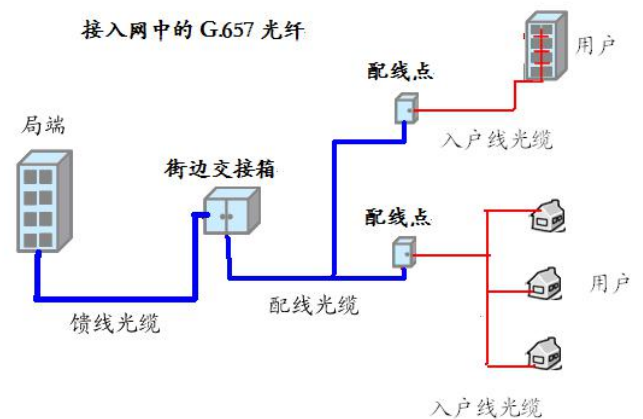


图 1 G. 657. A1 和 G. 657. A2 类光纤在接入网中的应用

4. G. 657 光纤目前的应用思路

G. 657 四个子类的光纤因为具有不同的 G. 652 光纤兼容性和抗弯曲性能，其在 FTTx 中的具体应用有所不同。

由于 G. 657. A1 和 G. 657. A2 类光纤具有与 G. 652 光纤兼容的性能，在接入网中为了简化系统设计和降低安装维护成本，可以使用这两类光纤来完全取代 G. 652 光纤。G. 657. A1 和 G. 657. A2 光纤在接入网中的应用思路如图 1 所示。

一般的，越接近于局端，越要求所使用的光纤与 G. 652 光纤兼容，以降低接续损耗和提高入纤功率以确保系统设计的功率预算；越接近于终端，就越要求所使用的光纤具有良好的弯曲性能以方便布线。

G. 657. A1 光纤的弯曲性能较 G. 652 光纤略好一些，而成本较 G. 657. A2 光纤也更低，因此现在在接入网的建设中也有一些应用，但并不太多。

G. 657. A2 光纤与 G. 652 光纤相兼容，其抗弯曲性能较 G. 657. A1 光纤更加良好，可同时满足室内外的使用，非常适合于接入网在接近终端部分楼内甚至室内布线的使用。目前接入网使用的皮线缆（蝶形光缆，bow-type cable）基本上使用的是 G. 657. A2 光纤。同时，在城市管道资源日趋紧张的今天，运营商们迫

切希望能够使用大芯数小尺寸的光缆来充分利用现有的管道资源, G. 657. A2 光纤由于其良好的抗弯曲性能, 特别是与 G. 652 光纤相比明显改进的抗微弯性能, 使得大芯数小尺寸的光缆成为可能。目前在欧洲, 已经有运营商成功的将 G. 657. A2 用于大芯数小尺寸的光缆中, 使得管道资源得以节省, 运营成本也得以降低。同时国外大的光纤厂家和运营商也成功的将 G. 657. A2 光纤用于气吹微缆的设计与应用中。同时因为 G. 657. A2 光纤的抗弯曲性能, 使得光纤交接箱等设备的体积可以进一步的减小。在部分光器件中, G. 657. A2 光纤也有一定的应用。

G. 657. B2 和 G. 657. B3 类光纤不要求与 G. 652 光纤的兼容性, 同时其抗弯曲性能要求严格。这两类光纤一般用于短距离的通信, 例如光纤在室内的布线或者对光纤的弯曲要求非常严格的使用环境中, 例如部分光器件中或特殊的应用场合。

G. 657. B2 光纤对光纤宏弯性能的要求完全同 G. 657. A2 光纤, 然而其与 G. 652 光纤的兼容性与 G. 657. A2 光纤相比较差, 所以在应用上与 G. 657. A2 光纤相比没有优势。

G. 657. B3 光纤, 其对光纤抗弯曲性能的要求在 G. 657 系列光纤中是最为严格的, 最小弯曲半径的要求达到 5mm, 此类光纤一般用于对光纤抗弯曲性能有着极为苛刻要求的使用环境中, 比如一些特殊的光器件或者特殊的应用场合。同时, 因为光纤在使用时有可能处于长期的 5mm 左右的弯曲半径状态下, 其机械

性能和使用寿命值得关注。

5. G. 657 光纤未来的应用前景

相比较而言, G. 657. A2 光纤是目前 G. 657 系列光纤中性价比最高的光纤类型, 也是最适合于接入网和 FTTx 使用的单模光纤。由于其良好的宏弯性能和微弯性能, G. 657. A2 光纤在 L 波段的传输应用具有更多优势, 这就为日后更具有应用价值的 L 波段的开通使用做好了技术上的准备。同时在光缆结构简化以及光缆大芯数小型化上, G. 657. A2 光纤也具有进一步发挥优势的可能性。在温度性能上, G. 657. A2 光纤与 G. 652 光纤相比也具有较为明显的优势, 使得 G. 657. A2 光纤可以在某些极端温度环境下, 特别是低温下予以应用。

随

长飞光纤光缆股份有限公司

Yangtze Optical Fibre and Cable Joint Stock Limited Company

地址: 武汉市光谷大道9号 (430073)

ADD: No.9 Optics Valley Avenue, Wuhan, Hubei, China(P.C.: 430073)

电话(Tel): +86 400-991-6698

邮箱(Email): marketing@yofc.com

www.yofc.com

着光
纤制
造技
术的

发展, G. 657. A2 光纤的成本将不断降低并接近目前的 G. 652 光纤。凭借其更为优良的抗弯曲性能, 温度性能等, G. 657. A2 光纤将极有可能取代 G. 652 光纤, 作为一种性价比最高的单模光纤产品, 在光纤接入网和 FTTx 中得以全面的使用。