

# 光纤光缆的结构与发展

余建平

(武汉铁路职业技术学院,湖北 武汉 430063)

摘要:在了解光纤的结构与分类的基础上,详细介绍现代通信技术发展中光纤光缆新材料、新结构的研究方向及实际应用情况。

关键词:光纤结构;光纤新材料;新型结构的光缆

中图分类号:O 472<sup>+</sup>.8

文献标识码:A

随着因特网的迅速发展,光纤通信已经进入用户网,并逐步取代用户网中的音频电缆,从而走进千家万户。所谓光纤通信,是指将要传送的语音、图像和数据信号等调制在光载波上,以光纤作为传输媒介的通信方式。光纤是迄今为止发现的最适合传导光的传输媒介,是光纤通信系统中不可缺少的组成部分。在实际工程中光纤是以光缆形式应用的。光缆作为光纤的具体应用形式,其中包含着二重含义:一方面可以用不同品种的光纤制成同一结构的光缆,供不同层次的网络使用;另一方面可以用不同的材料制成不同结构的光缆来满足不同应用环境的需要。

## 1 光纤的结构与发展

### 1.1 光纤的结构

光纤的中心是传播光的纤芯。在多模光纤中,纤芯的直径是  $15\mu\text{m} \sim 60\mu\text{m}$ ,大致与人的头发的粗细相当。而单模光纤纤芯的直径为  $8\mu\text{m} \sim 10\mu\text{m}$ 。纤芯外面包围着一层折射率比纤芯低的包层,以使光的传输保持在纤芯内。包层外面是一层薄的塑料外套称为涂覆层,用来保护纤芯和包层。纤芯和包层通常是由石英玻璃制成的横截面积很小的双层同心圆柱体,它质地脆,易断裂,因此需要外加涂覆层。

### 1.2 光纤的分类

光纤主要分以下两大类:(1)按传输模式分为单模光纤和多模光纤。单模光纤的纤芯直径很

小,在给定的工作波长上只能以单一模式传输,传输频带宽,传输容量大。多模光纤是在给定的工作波长上,能以多个模式同时传输的光纤。(2)按折射率分布可分为阶跃式光纤和渐变式光纤。阶跃式光纤纤芯的折射率和包层的折射率都是一个常数。在纤芯和包层的交界面,折射率呈阶梯型变化。渐变式光纤纤芯的折射率随着半径的增加按一定规律减小,在纤芯与包交界处减小为包层的折射率。纤芯的折射率的变化近似于抛物线。

### 1.3 光纤新材料

以  $\text{SiO}_2$  材料为主的光纤,工作在  $0.8\mu\text{m} \sim 1.6\mu\text{m}$  的近红外波段,目前所能达到的最低理论损耗在  $1550\text{nm}$  波长处为  $0.16\text{dB}/\text{km}$ ,接近石英光纤理论上的最低损耗极限。如果将工作波长加大,由于受到红外线吸收的影响,衰减常数反而增大。因此,许多科学工作者一直在寻找超长波长 ( $2\mu\text{m}$  以上)窗口的光纤材料。

1.3.1 氟化物玻璃光纤 氟化物玻璃光纤是当前研究最多的超低损耗远红外光纤,它是以  $\text{ZrF}_4 - \text{BaF}_2$ 、 $\text{HfF}_4 - \text{BaF}_2$  两系统为基本材料的多组份玻璃光纤,最低损耗在  $2.5\mu\text{m}$  附近为  $1 \times 10^{-3}\text{dB}/\text{km}$ 。目前  $\text{ZrF}_4$  玻璃光纤在  $2.3\mu\text{m}$  处的损耗达到  $0.7\text{dB}/\text{km}$ ,这离氟化物玻璃光纤的理论最低损耗  $1 \times 10^{-3}\text{dB}/\text{km}$  相距很远,仍然有相当大的潜力可挖。能否在该领域研制出更好的光纤,对于开辟超长波长的通信窗口具有深远的意义。

\* 收稿日期:2004-12-21

作者简介:余建平(1966-),女,湖北武汉人,武汉铁路职业技术学院信息系讲师;主要从事通信工程方面的研究。

1.3.2 硫化物玻璃光纤 硫化物玻璃光纤具有较宽的红外透明区域 ( $1.2\mu\text{m} \sim 12\mu\text{m}$ ), 有利于多信道的复用, 而且硫化物玻璃光纤具有较宽的光学间隙, 自由电子跃迁造成的能量吸收较少, 温度对损耗的影响较小, 其损耗水平在  $6\mu\text{m}$  波长处为  $0.2\text{dB}/\text{km}$ , 是非常有前途的光纤。并且, 硫化物玻璃光纤具有很大的非线性系数, 用它制作的非线性器件, 可以有效地提高光开关的速率, 开关速率可以达到数百  $\text{Gb}/\text{s}$  以上。

1.3.3 重金属氧化物玻璃光纤 重金属氧化物玻璃光纤具有优良的化学稳定性和机械物理性能, 但红外性质不如卤化物玻璃好, 区域可透性差, 散射也大, 但若把卤化物玻璃与重金属氧化物玻璃的优点结合起来, 制造成性能优良的卤-重金属氧化物玻璃光纤具有重要的意义。日本 Furukawa 电子公司, 用 VAD 工艺制得的  $\text{GeO}_2 - \text{Sb}_2\text{O}_3$  系统光纤, 损耗在  $2.05\mu\text{m}$  波长处达到了  $13\text{dB}/\text{km}$ , 如果经过进一步脱羟基 ( $\text{OH}^-$ ) 的工艺处理, 可以达到  $0.1\text{dB}/\text{km}$ 。

1.3.4 涂覆材料 特殊的环境对光纤有特殊的要求, 石英光纤的纤芯和包层材料具有很好的耐热性, 耐热温度达到  $400^\circ\text{C} \sim 500^\circ\text{C}$ , 所以光纤的使用温度取决于光纤的涂覆材料。目前, 梯型硅氧烷聚合物 (LSP) 涂层的热固化温度达  $400^\circ\text{C}$  以上, 在  $600^\circ\text{C}$  的光传输性能和机械性能仍然很好。采用冷的有机体在热的光纤表面进行非均匀成核热化学反应 (HNID), 然后在光纤表面进行裂解生成碳黑, 即碳涂覆光纤。碳涂覆光纤的表面致密性好, 具有极低的扩散系数, 而且可以消除光纤表面的微裂纹, 解决了光纤的“疲劳”问题。

#### 1.4 新型光纤不断出现

随着光传送网向更高速率、更大容量、更长距离方向发展, 光纤通信不同层次网络对光纤要求不尽相同。

现在核心网采用光纤主要是 G 655 光纤。由于 G 655 光纤的性能在逐渐的完善, 所以各个光纤制造厂商不断推出新产品, 如阿尔卡特推出的 Teralight Ultra 光纤, 实现了单波道  $40\text{Gbit}/\text{s}$ , 总容量  $10.2\text{Tbit}/\text{s}$  的 DWDM 传输  $100\text{km}$ 。日本住友开发出的超低损耗纯硅芯光纤 PSCF, 其衰减仅  $0.151\text{dB}/\text{km}$ , 光纤有效面积已经达到了  $170\mu\text{m}^2$ , 使传输的非线性大大减少。特别是 2003 年 1 月

20 日至 31 日在瑞士日内瓦 ITU - T SG15 召开的会议上将 G 655 光纤类别由 G 655A、G 655B 进一步细分为 G 655A、G 655B、G 655C 三类, 以适应了核心干线网络发展的要求。

局域网光纤性能强调的是工作带宽和接续费用。特别是随着吉比特以太网和  $10\text{G}$  比特以太网快速发展多模光纤已经成为首选传输媒质。国内外光纤厂家如, 康宁、阿尔卡特、烽火、长飞等先后推出了吉比特以太网多模光纤并已经大量商用。2002 年 IEEE 在 802.3ae 标准中, 又提出了一种高带宽  $50/125\mu\text{m}$  多模光纤。它提高了  $850\text{nm}$  波长的带宽, 在链路中选用低价格的  $850\text{nm}$  波长垂直腔表面发射激光器 (VCSEL) 和两级编码技术, 这种多模光纤的“激光器带宽”为  $2000\text{MHz}\cdot\text{km}$ , 足以支持  $10\text{Gb}/\text{s}$  以太网传输达  $300\text{m}$ 。当前, 高带宽  $50/125\mu\text{m}$  多模光纤正在成为吉比特以太网采用的主要光纤。

2002 年, Ericsson 公司研制出了一种多模和单模结合的 MM - SM 光纤, 它与多模光纤连接时可用作多模光纤, 与单模光纤连接时用作单模光纤。这种新型光纤适用于 FTTH, 它使得光纤线路可由多模向单模升级。这为光纤的研究又提供了一个新的思路。

除了玻璃光纤新品迭出之外, 塑料光纤最近又有了较大的技术突破。又据报道, 塑料光纤以单波长  $2.5\text{Gb}/\text{s}$  速率可传输  $144\text{m}$ 。我们相信, 塑料光纤将会在光纤到家庭和光纤到桌面中大显身手<sup>[1]</sup>。

## 2 光缆的结构与发展

### 2.1 光网络的发展使得光缆的新结构不断涌现

光缆的结构总是随着光网络的发展、使用环境的要求而发展的。新一代的全光网络要求光缆提供更宽的带宽, 容纳更多的波长, 传送更高的速率并且要具有便于安装维护、使用寿命更长等特点。光缆结构的发展归纳如下:

(1) 光缆结构根据使用的网络环境有了明确的光纤类型的选择, 如干线网光纤、城域网光纤、接入网光纤、局域网光纤等, 这决定了大范围内光缆光纤传输特性的要求, 具体运用的条件还有可依据的细分的标准及指标; (2) 光缆结构除考虑光缆使用环境条件以外, 越来越多的与其施工方法、维护方法有关, 必须统一考虑配套设计; (3)

光缆新材料的出现,促进了光缆结构的改进,如干式阻水料、纳米材料、阻燃材料等的采用,使光缆性能有明显改进。

不同的场合和不同的要求造成了光缆的多结构的发展趋势,新的光缆结构以及在现有结构上不断改进的各种结构也在不断涌现

## 2.2 新型结构的光缆

光缆是由光纤和各种材料共同组成的。光缆的传输性能是由光纤的品种及其性能决定的,而光缆的机械性能和环境性能是由光缆材料的内在质量与制造工艺技术水平决定的。任何结构和材料变化都将直接影响到光缆的性能和成本。

**2.2.1 小直径、轻重量光缆** 一般,评价光缆质量优劣的性能包括:光传输性能、机械性能、环境性能。光缆的光传输性能是由光缆中采用的光纤类型所决定的。光缆的机械性能和环境性能则取决于光缆结构、选用的材料种类及其质量、光缆制造技术水平。针对目前光纤通信工程中,光缆结构发展趋势呈现出以管道光缆为主,以直埋光缆和室外架空光缆为辅的格局。人们自然会想是否可以将对光缆结构的重型保护移植到管道上或者选择其他的光缆材料,这样做既可以降低光缆成本(减小光缆尺寸,降低光缆重量),又可以节约施工费用(节约管道空间和施工更简便)。美国 OFS BrighWave Carrollton 的 Richard G Gravely 论文指出减小松套管光缆尺寸和重量的办法是首先在保证光缆耐低温弯曲和机械性能稳定的前提下,设法减小松套管和中心加强件的尺寸,其次是减小护套和皱纹金属覆膜带厚度。这种方法适用于全介质单层护套光缆、轻型铠装光缆(单层护套、单层铠装)、铠装光缆(双层护套、单层铠装)和短跨度接入 ADSS 光缆(全介质自承光缆)。例如,他们研制的 144 芯单层护套小直径管道光缆的直径仅为 13.4mm,而典型商用 144 芯单层护套管道光缆的直径为 18.8mm。

**2.2.2 全干式松套管光缆** 光缆最忌讳水,究其原因水既会引起光纤的水峰衰减,又可以通过渗透腐蚀作用导致光纤断裂。在潮湿条件下,水还会通过光缆护套扩散进入内部形成自由水的凝聚。如果不加控制,水会沿着光缆缆芯纵向迁移流到接头盒给通信系统带来潜在的危险甚至造成业务中断。传统光缆采用的填充阻水措施是将阻水油膏填满光缆中的松套管的所有空间来切断水

的纵向流动路径。

尽管传统光缆具有良好的性能和可靠性,但是在光缆接续前要清除油膏和清洁光纤。在光缆安装施工操作中这是一项增加费用和降低生产效率的耗费时间的工作。填充阻水油膏的光缆也会明显地增加光缆重量,增加长途线路安装所需要的人和设备。为了克服填充阻水油膏的光缆的上述缺点,最近美国 OFS(原朗讯)光纤光缆部的 Richard H. Norris 等人共同开发出 12~216 芯一系列的中心管完全没有填充阻水油膏的室外用全干式中心管光纤带光缆,其结构从光缆中心至光缆外护层依次是光纤带、空气、纤用高级吸水膨胀阻水带(代替纤用阻水油膏)、改善了冲击性能的聚丙烯松套管、缆芯用高级吸水膨胀阻水带(代替缆用阻水油膏)、皱纹金属覆膜带铠装层、两根平行金属加强件钢丝和高密度聚乙烯外护层(HDPE)。

如果这种光缆被用于雷电频繁和存在干扰电流的场所时金属加强件应该采用全介质的玻璃钢/环氧树脂棒。

**2.2.3 泡沫阻水光缆** 众所周知,传统的松套管光缆采用填充阻水油膏或吸水膨胀阻水纱来进行纵向阻水。然而阻水油膏会给光缆施工和环境带来一定的负面影响,如擦拭阻水油膏的溶剂挥发会刺激人们的皮肤,长期使用会引起湿疹;擦拭阻水油膏的卫生纸会污染环境。为此,光缆施工安装和现场测试人员十分期待着不采用填充阻水油膏或吸水膨胀阻水纱的干式光缆的诞生。正是为了克服阻水油膏和阻水纱的缺点,爱立信网络技术公司的 Borje Lindblom 等研制出一种泡沫阻水光缆。

泡沫阻水光缆的关键技术是用发泡的热塑性弹性体来代替阻水油膏作为光缆的纵向阻水材料。泡沫阻水光缆的结构是在外护层以下,中心加强件和松套管之间的所有空间都填充发泡的热塑性弹性体泡沫。采用泡沫阻水的优点是既能够减小光缆尺寸和光缆机械性能,又可以提高光缆施工速度。在护套工艺过程中发泡热塑性弹性体材料很容易与 PE 外护套材料结合为一体。这样合理地控制发泡过程,就可以获得阻水效果十分完美的密封泡沫结构。

**2.2.4 微型吹气安装光缆** 电信运营商面临着两大问题:第一:在投入资金有限的同时,还要建设

光缆路由来满足用户带宽日益增长的需要;第二:要想方设法减少光缆路由基础设施费用,降低生产成本。光缆制造商解决以上两问题的具体方法由:光缆可利用城市现有的基础设施(如在交通道路、煤气管道、下水道中安装布放光缆的子管)或通过城市新建的微型管道系统引入用户;为了最大限度的利用子管系统和微型管道系统的资源,需用一种小直径微型吹气安装光缆。

2.2.5 新型材料光缆 现有光缆中使用的如 PVC 燃烧时会放出有毒气体,光缆稳定剂中有时含铅,都是对人体及环境有害的。从环境保护及阻燃性能的要求出发,有光缆厂家已采用环保材料开发出了生态环保光缆,应用于大楼及家庭等室内环

境。如对室内用缆,可采用含有阻燃添加剂的聚酰胺化合物,以及无卤性阻燃塑料。2001年 ITU-T 已通过了 L45 建议即“使电信网外部设备对环境的影响最小化”建议,以规范和控制光缆对环境的负面影响<sup>[2]</sup>。

光纤光缆从发展初期至今,其应用场所经历了从核心网到城域网、接入网的发展过程,未来将继续向家庭桌面延伸或者说现在正经历着由室外向室内的发展。这期间光纤光缆无论是从材料选择、结构优化、制造工艺,还是从应用环境、铺设方式等方面都得到了发展。

(责编 郭晓蕾)

#### 参考文献:

- [1] 马声全. 高速光纤通信 ITU-T 规范与系统设计 [M]. 北京:北京邮电大学出版社, 2002. 83~85.  
[2] 王加强, 岳新全. 光纤通信工程 [M]. 北京:北京邮电大学出版社, 2003. 231~233.