

塑料光纤的制造方法

胡先志 (广东技术师范学院 广州 511495)

〔摘要〕 随着宽带业务向着公司和家庭发展,世界各网络运营商都在进行光纤接入网建设。如何降低网络成本是决定光纤接入网建设速度的根本。塑料光纤以其良好的传输性能、简单的接续和便宜的价格等优点,大大加快了光纤接入网的建设步伐。作为短距离传输介质的塑料光纤,用户和生产技术人员最关心的是塑料光纤的制造方法。详细介绍了塑料光纤的各种制造方法及其特点,供国内从事塑料光纤研究和生产的同仁参考。

〔关键词〕 塑料光纤(POF);制造方法;衰减;色散;传输性能

1 引言

石英玻璃光纤具有带宽巨大、传输性能良好等优点,但同时又存在着纤芯小、制造工艺复杂、接续困难、弯曲性能差和安装费用高等一些缺点。为了解决石英玻璃光纤存在的这些问题,人们开发出塑料光纤(POF)。POF具有以下显著的特点。

(1) 纤芯直径大

POF的纤芯直径和包层直径比石英玻璃单模光纤的大得多。光通过POF的纤芯直径得以增大,进而使得POF之间或者POF与通信终端设备之间的连接变得较容易。大纤芯直径由于增大了受光角度而扩大了POF的使用范围,因此既适用于语音、数据通信,又可以作为传感器的信息传输介质。

(2) 柔韧性强

众所周知,玻璃是一种脆性材料。脆性材料最怕受到弯曲应力作用,过小的弯曲应力会导致其发生断裂。鉴于玻璃光纤存在的脆性断裂问题,在光缆设计

时应对结构和材料采取一系列措施,以避免石英玻璃光纤和光缆受到过小的弯曲。这样做的目的是保证其不会发生脆性断裂。

POF的组成材料是具有强柔韧性的高分子聚合物材料,简称为塑料。POF所用的塑料具有许多优良的性能,如良好的透光性和光学均匀性,材料轻而柔韧,抗弯曲、抗冲击强度高,容易加工成大芯径的光纤。特别是在光纤到户(FITH)建设中,POF的强柔韧性赋予其室内布线更大的灵活性和更多的便利。

(3) 接续简单

大芯径POF可以采用简单快捷的连接剂和注塑连接器完成接续,接续可以采用不带光纤定位插针的便宜的塑料连接器。即使纤芯对准产生 $\pm 5 \mu\text{m}$ 或者更大的偏差,POF接续都不会导致过大的光耦合损耗。正是POF的结构赋予了其简单接续和快捷施工的特点,从而大幅度降低了安装费用。这个优点对于需要以简单快速的接续来节约安装费用的FITH建设而言具有十分重要的意义。

表1 玻璃光纤、POF与电传输介质的性能比较

传输介质	工作带宽/MHz	衰减系数/(dB·km ⁻¹)	中继距离/km	敷设安装	接续操作
对称电缆	6	20 (4 MHz)	1~2	方便	简单
同轴电缆	400	19 (60 MHz)	1.6	方便	比较简单
微波波导	40~120	2	10	复杂	复杂
塑料光纤	2 500	56	<1	简单	简单
玻璃光纤	>30 THz	0.35~0.20	80	方便	复杂

当然,随着光纤通信技术的不断进步,光网络规模和应用范围的不断扩大,新的光纤品种和新的光缆结构会不断产生,届时一定会有与之配套的简单、快捷的接续技术和施工方法问世。表 1 给出通信网络使用的玻璃光纤、POF 与对称电缆等传输介质的性能比较。

为了及时了解国外有关 POF 的研究动态和制造水平,本文以大量 POF 相关的最新研究文献为基础,较为详细地介绍了 POF 的制造方法及其特点,供国内从事 POF 研究和生产的读者参考。

2 制造方法

2.1 纤芯材料

作为短距离传输介质的 POF 是用高折射率塑料为纤芯材料和低折射率塑料为包层材料制成的全塑料光纤,又称为聚合物光纤。POF 一般采用界面凝胶聚合法、挤塑法或离心聚合法制造。与通信用石英玻璃光纤相同,通信用 POF 按照其折射率分布也可以分为阶跃折射率分布(SI)POF 和渐变折射率分布(GI)POF 两大类。因为 GI POF 具有宽带宽和小衰减系数,所以现在局域网建设所用的 POF 大多数是 GI POF。

为了获得 POF 所需要的折射率分布结构、传输性能和机械性能,可以选择具有不同光学、电学和力学性能的塑料,通过不同的方法制造出具有高性价比的 POF。按照制造 POF 所用材料中的含氢量,POF 所用的材料可以分为三大类型:1) 含氢的化合物;2) 氢被部分置换的化合物;3) 氢被完全置换的化合物。更为具体地讲,POF 采用氟化聚甲基丙烯酸甲酯(PMMA)、聚苯乙烯(PS)或 PMMA 作为纤芯材料,其理由是 PMMA 和 PS 的主链含有不对称中心,分子链的对称性和规则被破坏,从而使这些材料成为具有优异光学性能的 POF 的制造材料。

2.2 光纤制造

2.2.1 分类

光纤是由各种导光材料制成的通信或光能传输用的圆柱形光导纤维,简称为光纤。POF 的性能除了与其所用的材料组成、结构和波导结构(折射率分布)密切相关外,还与 POF 的制造方法关系密切。POF 的生产过程要解决保证精确控制折射率分布结构、挖掘降低衰减的潜力、提高机械强度和化学稳定性以及设法制造更大尺寸的预制棒等一系列关键技术问题。

POF 折射率分布结构的设计是为了保证所制造的光纤能够满足使用时所需要的光传输性能、机械性能和环境性能要求。POF 原材料的选择是制造良好性能光纤的基本条件,而合适的 POF 制造方法才是保证获得性能良好光纤的充分条件。目前,POF 的制造方法已经由两步法(先制棒,再拉丝)转入一步法(连续挤塑),以降低生产成本和提高生产效率。迄今为止,世界各 POF 研究机构和制造厂家已经研究出的制造方法可以具体分为针对 SI-POF 和 GI-POF 两大类产品的多种制造方法。图 1 以简单、直观的方式概括出当今世界流行的 POF 制造方法。

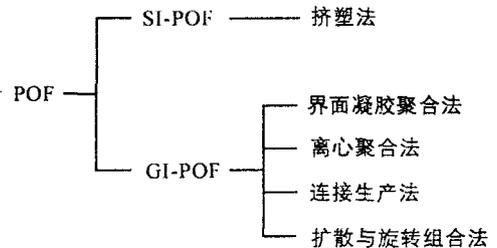


图 1 POF 的制造方法

2.2.2 特点

由于 POF 的纤芯和包层都由塑料组成,所以其制造方法与石英玻璃光纤的完全不同。石英玻璃光纤采用高温汽相沉积法制造,而 POF 则采用低温聚合或者挤塑法制造。因此,POF 的制造方法具有许多特点。首先,POF 涉及聚合物化学,生产人员必须掌握聚合物反应机理,并采取必要的安全保护措施。其次,POF 都在低于 200 °C 的温度下生产。因此,按照制造工艺要求,POF 的制造具有四个特点:1) 纤芯。制造出的纤芯必须均匀,不应含有任何杂质、气泡等,且分子量应呈现正确的分布。2) 光纤。采用精确的拉制或者挤塑制造方法来生产 POF。3) SI-POF。必须寻找和采用折射率低、衰减小的包层材料,而且要确保纤芯与包层之间的界面足够光滑,使包层与纤芯良好地配合。4) GI-POF。为了增加折射率,必须选择合适的聚合物或者掺杂剂。要实现聚合物或掺杂在纤芯剖面的分布,需要采用合适的制造方法,以便在纤芯中获得渐变(抛物线)折射率分布。

2.2.3 关键技术

POF 制造涉及到的关键技术为:1) 选择折射率、分子量合适的聚合单体;2) 寻找提纯单体的简单易行的方法;3) 摸索出制造渐变折射率分布的 POF 预制棒的最佳工艺参数。POF 的制造工艺有一步法(连续挤塑)和两步法(先制棒,再拉丝)两种。

一步法主要用于生产 SI-POF, 两步法则用于生产 GI-POF。本文以图 1 所示的 POF 制造方法为主线, 简要阐述了 POF 各种制造方法的工艺步骤、关键技术和主要特点, 以便于读者比较不同制造方法生产出的 POF 的性能差异。

通信业内人士都清楚, 目前 POF 的制造方法有预制棒法和坩埚熔融法。预制棒法是首先制造预制棒, 然后将预制棒加热拉制成包层直径为 125 μm 的通信光纤。坩埚熔融法则是利用内外同心的坩埚分别熔融作为纤芯和包层材料的多组分玻璃, 直接拉制成光纤。

预制棒法的优点是, 首先利用化学方法制造出具有设计折射率分布(传输性能)结构的大直径预制棒, 然后将大预制棒置于高温炉内, 加热使之软化, 拉制成符合直径要求的细光纤。简而言之, 通过制棒过程获得 POF 的传输性能, 而拉丝只是由粗棒到细纤的变径过程。为了直观形象地描述, 图 2 示出由 POF 预制棒拉制成 POF 的工艺流程示意图。对此, 值得强调的是, 在拉丝过程中应确保纤芯的折射率分布不变, 只是由粗棒变化到细纤, 即直径按比例减小。利用公式(1)可以计算出一根 POF 预制棒可以拉制的 POF 长度。

$$L = l \times \left(\frac{D}{d} \right)^2 \quad (1)$$

式中, L 是拉制的 POF 长度; l 为 POF 预制棒的长度; D 是 POF 预制棒的直径; d 为 POF 的直径。

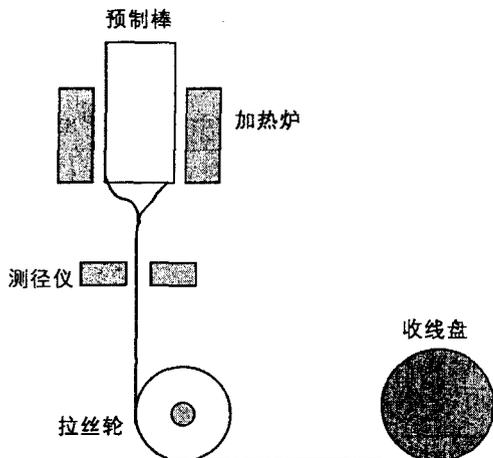


图 2 由 POF 预制棒拉制成 POF 的工艺流程示意图

鉴于 POF 制造技术水平的限制, 目前一根 POF 预制棒只能拉出几公里的 POF。例如, POF 预制棒长度为 1 m, 其直径是 5 cm, 计算由该预制棒可以拉出的 POF 长度:

$$L = 1 \text{ m} \times \left(\frac{5 \text{ cm}}{1 \text{ mm}} \right)^2 = 2.5 \text{ km}$$

由此计算实例得到的启示是, POF 预制棒制造方法的研究重点在于如何生产出大直径、大长度的预制棒。

也可以采用预制棒法首先制造出 POF 纤芯, 然后采用挤塑法在圆柱体纤芯外挤制一个包层, 生产出具有完整纤芯/包层结构的 POF。这种预制棒法 + 挤塑法混合方法的最大优点在于既可以精确控制纤芯的聚合过程, 使得纤芯呈现的折射率分布几乎与设计结构完全一致, 又可以采用挤塑法来提高 POF 的生产效率。

2.2.4 生产技术

2.2.4.1 SI-POF 的生产技术

SI-POF 是指纤芯/包层界面的折射率分布呈现阶跃变化的 POF。由于 SI-POF 纤芯与包层界面的折射率具有简单的阶跃特点, 所以 SI-POF 的生产可以采用非常简单、只有一步生产工艺的挤塑法。SI-POF 中纤芯/包层折射率分布的形成是分别借助安装在一条生产线的两个不同部位的两台挤塑机完成的。如图 3 所示, 一台挤塑机完成纤芯材料的挤出任务, 而另外一台挤塑机完成包层材料的挤出任务。SI-POF 挤塑法采用的是连接生产工艺。

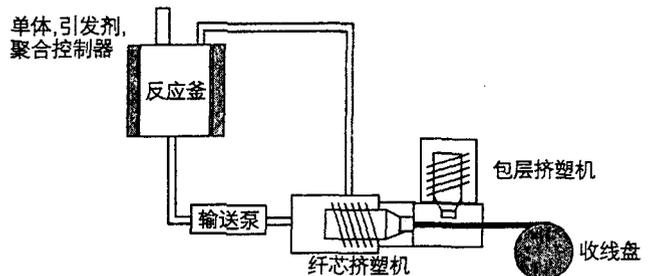


图 3 典型 SI-POF 挤塑法生产工艺示意图

这条连续生产线由一个需要加热的化学反应釜、一个输送泵、一台纤芯挤塑机、一台包层挤塑机和一个收线盘等组成。具体工艺生产过程是, 首先将作为纤芯的液体原料(如单体、聚合引发剂和链转移剂等)放入加热反应釜中混合, 通过聚合控制器控制混合液体的聚合(单体在反应釜中完成 80% 的聚合); 然后用输送泵注入纤芯挤塑机, 挤出纤芯; 再利用包层挤塑机在已经形成的纤芯外挤一层包层, 经过快速冷却, 最后制成 SI-POF。

SI-POF 挤塑生产工艺方法的优点是, 由该生产工艺引起的聚合物污染非常小。随着研究的深入, 人

们又对上述挤塑工艺方法进行了一些改进,使其更加完善。对该工艺方法的具体改进如下所述:1) 使用固定颗粒原料。采用粉碎的 PMMA 颗粒作为纤芯原料,并在挤塑之前认真清洗。2) 采用非金属挤塑头。这样做可以避免任何金属杂质的污染。3) 使用涡轮泵。涡轮泵特别适合输送聚合的混合液体。

2.2.4.2 GI-POF 的生产技术

虽然 SI-POF 的生产方法简单,但是 SI-POF 本身存在着严重的模间色散,使得其传输带宽(容量)非常窄。为了提高 POF 的传输带宽,人们将对 POF 的研究由 SI-POF 转向 GI-POF。所谓 GI-POF,是指从纤芯中心到包层的折射率分布呈现连续逐渐减小的 POF。由于 GI-POF 纤芯剖面的折射率呈现连续变化的渐变分布,所以 GI-POF 制造方法的研究重点是如何获得精确的折射率渐变分布。为了确保获得最佳的渐变折射率分布,日本、德国、韩国等发达国家的研究人员一直在不懈地努力研究,积极探索能够以最小投入连续生产 GI-POF 的制造方法。迄今为止,已经研究出的 GI-POF 的制造方法有界面凝胶聚合法、离心聚合法、连续生产法以及扩散与旋转组合法。下面对这些制造方法进行详细介绍。

(1) 界面凝胶聚合法

1992 年,日本庆应大学的小池康博教授发明了界面凝胶聚合法。该方法首先用 PMMA 制造出一个 PMMA 管,再在这根 PMMA 管中放入由两种不同单体组成的混合溶液,其中一种单体 M_1 的折射率高、分子量大,另一种单体 M_2 的折射率低、分子量小。将盛有由 M_1 和 M_2 组成的混合溶液的 PMMA 管放入烘干箱,通常加热至 $80\text{ }^\circ\text{C}$,混合溶液的作用使 PMMA 管的内壁开始液化,产生一层凝胶层,并由 PMMA 管壁向管的中心加速聚合反应。分子量小的 M_2 很容易扩散进入该凝胶层,这使得 M_1 的浓度(折射率)由 PMMA 管边缘向中心逐渐增大,所得到的浓度渐变分布其实就形成了一个渐变折射率分布结构。在界面凝胶聚合法中,采用的两个具有不同折射率($n_1 > n_2$)的单体必须满足下列条件:1) 第一个单体的反应速度 $r_1 > 1$,带有掺杂剂的第二个单体的反应速度 $r_2 < 1$; 2) 如果 $r_1 = r_2 = 1$,第一个单体的分子应比带有掺杂剂的第二个单体分子小得多。

1992 年,小池康博研究小组以甲基丙烯酸甲酯(MMA)为 M_1 ,再添加单体如 VB、VPAC、BzA、PhMA 和 BzMA 为 M_2 ,研制出 PMMA-GI-POF。PMMA-GI-POF 最终选择 BzA 作为 M_2 ,这是因为其反

应活性与 MMA 匹配。他们采用界面凝胶聚合法首先制得一根直径为 $15\sim 22\text{ mm}$ 的 PMMA-GI-POF 预制棒,然后将该棒放入高温炉中,加热到 $190\sim 280\text{ }^\circ\text{C}$,拉制成直径为 $0.2\sim 1.5\text{ mm}$ 的 GI-POF。图 4 示出界面凝胶聚合法形成渐变折射率分布的反应过程。应该强调的是,PMMA 管扮演着 GI-POF 包层的角色,而 MMA 与 BzA 混合溶液聚合形成的渐变折射率分布部分则构成 GI-POF 的纤芯。

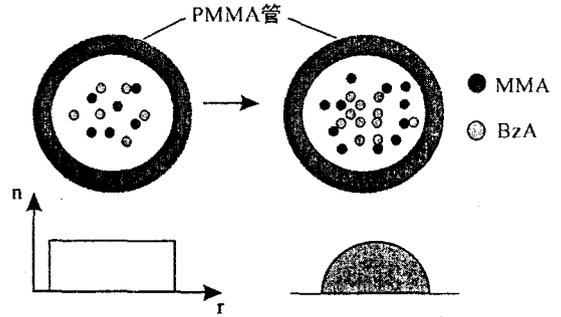


图 4 界面凝胶聚合法形成渐变折射率分布的反应过程

为了提高聚合速度,降低生产成本,1995 年,小池康博对上述制造方法进行了一些必要的改进,将静态聚合变换为动态聚合。所谓的动态聚合就是将单体 MMA 放入一个玻璃反应器中,在 $70\text{ }^\circ\text{C}$ 、 $3\ 000\text{ r/min}$ 的高速旋转条件下制得高纯 PMMA 管。纤芯的动态聚合过程则是在 $95\text{ }^\circ\text{C}$ 、 50 r/min 的旋转条件下,需要 24 h 才能完成。为了改善 PMMA-GI-POF 的弯曲特性并使光的注入更容易,采用 DPS 作为掺杂剂,可以使 PMMA-GI-POF 的数值孔径提高到 0.29 。

表 2 不同单体/聚合物的密度和折射率 n

单体或聚合物	密度/($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	折射率 n
MMA	0.936	1.490
DOP	0.981	1.486
BIE	0.982	1.564
BzMA	1.040	1.568
VB	1.070	1.578
BB	1.120	1.568
PMMA	1.190	1.490
TFPMA	1.254	1.373
PTFPMA	1.496	1.422
DBMC	2.180	1.538

(2) 离心聚合法

2003 年,韩国的 H. Kim 等人采用离心聚合法生产出 GI-POF。离心聚合法的技术核心是利用不同单体的密度差,通过高速离心作用来产生渐变折射率分布结构。表 2 列出不同单体/聚合物的密度和折射率 n 。

离心聚合法也是两步法,即先制棒,后拉丝。渐变折射率预制棒的制备过程是将由两种单体组成的折射率不同的三种混合液分别装入三根长度和厚度相同而内径不同的反应管(一根玻璃管和两根塑料管)进行加热聚合反应。加热聚合反应的工作条件是:反应炉温度为 $60\text{ }^{\circ}\text{C}$,反应管的旋转速度为 $1\ 000\sim 2\ 000\text{ r/min}$ 。反应炉的温度和混合液的粘度变化与塑料管的制备相同。最后,为了达到完全聚合的目的,使聚合预制棒在 $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ 加热温度、 0.2 mmHg 压力下持续聚合 8 h 。由此可以制备出一根长度为 500 mm 、直径为 50 mm 的透明渐变折射率分布的 POF 预制棒。只要所选择的单体混合液与塑料管的折射率合适,即依靠单体混合液和塑料管的折射率分布由预制棒中心至边缘呈渐变减小,一定可以制造出满足短距离通信光网络高速传输光信号要求的 GI-POF。表 3 给出制造 GI-POF 预制棒使用的单体混合液和塑料管的单体比例、单体折射率和(纤芯中)聚合物折射率的具体数据。

表 3 制造 GI-POF 预制棒使用的单体混合液和塑料管的单体比例、单体折射率和聚合物折射率等具体数据

说明	两种单体比例/wt%	单体折射率	聚合物折射率
单体混合液 3	65:35	1.444 1	1.514 5
塑料管 2	80:20; 72.7:27.3	1.437 5	1.509 1
单体混合液 2	78:22	1.432 9	1.505 4
塑料管 1	80:20	1.431 2	1.504 0
单体混合液 1	90:10	1.422 6	1.497 0

(3) 连续生产法

2006 年, P. Polishuk 等人报道了 PF-GI-POF 的连续生产法。与界面凝胶法相比,连续生产法具有两个显著的优点: 1) 能够以每分钟数十米的速度连续生产,降低了 GI-POF 的生产成本; 2) 生产工艺简单, PF-GI-POF 的连续生产法采用的是纤芯/包层原料直接熔融挤塑的一步法。

连续生产法的工艺原理是,首先挤制出一个 SI-

POF,然后使这个 SI-POF 通过一个加热管,利用纤芯中所包含的掺杂剂受热扩散,从而生产出 GI-POF。具体地讲,首先在纤芯挤塑机中添加 CYTOP + 掺杂剂原料,由纤芯挤塑机挤制出纤芯;然后向包层挤塑机中填充 CYTOP 原料,由包层挤塑机挤制出包层;再通过纤芯和包层共挤头挤制出 SI-POF,使该 SI-POF 通过一个加热管,在加热管中 SI-POF 中的掺杂剂受热后会由纤芯向包层扩散,从而实现折射率分布由 SI 向 GI 的转变;接着,在 GI-POF 的外表面施加 $500\text{ }\mu\text{m}$ 厚的 PMMA 保护层,最后生产出 PF-GI-POF。

图 5 示出 PF-GI-POF 连续生产法的工艺步骤和折射率变化过程示意图。2008 年,日本庆应大学的研究人员比较深入地研究了利用连续生产法制造 GI-POF 的机理。他们探索出,通过控制原料的熔融指数,可以轻易地增大掺杂剂的扩散系数,达到制造出宽带宽 GI-POF 的目的。他们采用 MMA 为基本原料、二苯基硫化物为掺杂剂、二叔丁过氧化物为引发剂来制造 GI-POF。研究发现,通过增大纤芯材料的分子量和减小包层材料的分子量,缩短扩散时间是获得宽带宽 GI-POF 的最佳途径。他们利用自行研发的计算机软件估算出,采用这种连续生产法制造的 GI-POF,其带宽与长度乘积为 $2.75\text{ GHz}\cdot 100\text{ m}$ 。

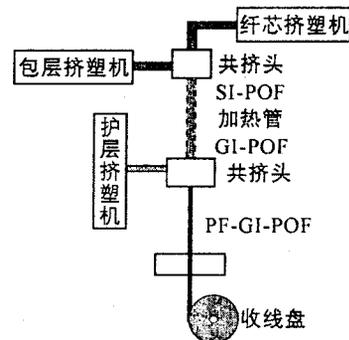


图 5 连续生产法的工艺步骤和折射率变化过程示意图

(4) 扩散与旋转组合法

2001 年, H. Park 等人采用扩散与旋转组合法生产出 PMMA-GI-POF。将单体液体置入一个圆柱形玻璃反应筒,筒的中心安放一根作为纤芯用的具有高折射率的固体聚合物材料棒。通过旋转和扩散反应,纤芯高折射率的材料棒缓慢扩散进入周围的单体,形成所需要的渐变折射率分布结构。

固体聚合物材料棒和玻璃反应筒以不同的速度旋转。玻璃反应筒的旋转速度为 $500\sim 1\ 000\text{ r/min}$,材料棒的旋转速度为 $6\sim 60\text{ r/min}$ 。采用不同的旋转速度源于旋转速度差可以确定平均浓度变化。这样

的旋转速度还可以产生旋转对称的折射率分布结构。利用扩散与旋转组合法,经过几个小时的热聚合反应,就可以制造出 PMMA-GI-POF 预制棒。图 6 示出扩散与旋转组合法制造 GI-POF 预制棒的原理和折射率分布。

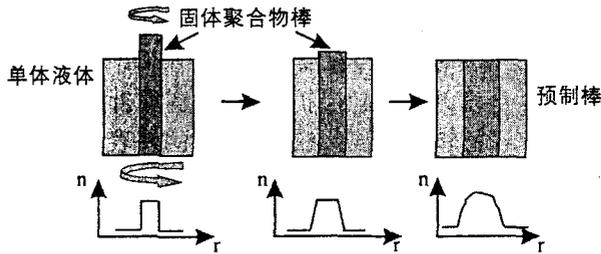


图 6 扩散与旋转组合法制造 GI-POF 预制棒的原理和折射率分布

将采用扩散与组合法制得的 GI-POF 预制棒放入一个高温炉内,加热拉成纤芯直径为 1 mm 的 PMMA-GI-POF。有关研究人员采用工作波长为 650 nm 的 InGaAsP 激光器作为光源,已经在采用扩散与组合法制得的 PMMA-GI-POF 上实现了 50 m 传输,测得的带宽与长度乘积为 1.2 GHz · 100 m。

3 结论

目前,为了适应视频、多媒体等宽带业务发展的需要,世界众多国家都在积极开展光纤接入网的建

设。降低光纤成本和提高接续速度是光纤接入网研究的重点。POF 制造方法简单,而且具有大芯径、柔韧性强和接续简单等优点,这为光纤接入网的建设开辟了新的思路。

本文综述了国外一些 POF 研究单位和制造厂商采用的 POF 制造方法的技术特点,以便于国内从事 POF 研究和生产的技术人员及时了解 POF 研究和生产的技术水平,从而加快我国 POF 研究和生产的步伐。

参考文献

- [1] 胡先志. 塑料光纤的波分复用传输系统. 光通信技术. 2004(4):11-14
- [2] 胡先志编著. 光纤与光缆技术. 北京:电子工业出版社. 2007,1
- [3] Olaf Ziemann, Jurgen Krauser et al. POF Handbook(Second edition). Springer. 2008,5
- [4] Josep Part. Next-Generation FTTH Passive Optical Networks. Springer. 2008,6
- [5] 胡先志. 短距离、高速率传送用塑料光纤. 光通信研究. 2009,(2):53-56
- [6] 胡先志等编著. 塑料光纤通信系统. 北京:人民邮电出版社. 2010,4

烽火通信蝶形引入光缆获得行业首张泰尔认证证书

近日,烽火通信自主研发的接入网碟形引入光缆成功通过泰尔认证。

“泰尔认证”是一种以质量管理体系为基础的产品认证。“泰尔产品认证证书”由隶属于工业和信息化部电信研究院的泰尔认证中心颁发,在通信行业具有极高的认可度,被誉为“通信设备进网证”。

在认证期间,泰尔认证中心专家组对烽火通信的质量管理体系、工艺流程和测试记录等各种资料进行了严格的审核,一致认为,烽火通信的生产条件和质量保证能力符合产品认证实施规则的要求,产品的一致性检查得到有效控制,完全符合认证要求。最终,烽火通信成为国内首家通过碟形引入光缆泰尔认证的厂商,充分验证了烽火接入网光缆在业界的领先实力。

据了解,“蝶形引入光缆”又称“皮线光缆”。随着我国 FTTH 建设的蓬勃兴起,该类光缆产品发展十分迅猛。作为我国光纤接入领域的领跑者,烽火通信一直致力于接入网光缆的应用研究和产品开发,并获得了累累硕果。早在 2005 年,烽火通信就在武汉南湖、北京宽 HOUSE 和青海油田等一系列重大 FTTH 工程中使用蝶形光缆,积累了大量的工程应用经验。2009 年,烽火通信作为牵头起草单位,主持完成了《接入网用蝶形引入光缆》标准的制定工作,进一步规范了接入网蝶形引入光缆的相关技术要求。同年,烽火还在广东电信接入网的蝶形引入光缆首次集中采购项目中包揽全部份额,显示出强劲的发展势头。

摘自《中国电线电缆网》2010,5,14