

第五屆歐洲光通信會議
第二屆國際集成光學及光纖通信會議
會議文集

荷蘭 阿姆斯特丹 1979年9月

第三分冊

光纖及光纜(下)

武漢郵電科學研究院情報研究室

光 缆

7. 1

海 底 光 缆

美国 I T T 电—光产品部:

J. E. Goell 及 R. Thomson

(未 收 到)

7. 2

胶体填充光纤电缆

日本横滨住友电气工业公司: H. HORIMA, S. TANAKA

T. NAKAFARA H. KUMAMARU

日本电报电话公司电信研究所: K. ISHIHARA

摘 要

研究了胶体填充光纤电缆。制作的这种胶体填充光缆的光学和机械特性足以使其投入实际应用。

1. 引 言

保护铜导体通信电缆免遭渗透进水是很重要的。因为水渗透会影响电缆的电特性。为此目的, 发展了一些技术, 例如给电缆里充气或灌进胶体。

但在光纤电缆的情况下, 即使光纤浸在水中, 其光学特性也不会出现退化。但从实际的观点来看, 由于下面的原因, 需要光缆具有防水特性。

- a) 保持纤维的机械特性。
- b) 保持光纤电缆中常有的线对或馈电线的电特性。
- c) 防止渗透的水结冰从而损耗光纤。

胶体填充光纤电缆完全能满足上面所列举的要求。特别是当光缆直径太细而长, 以致不能将气体充进光缆时尤其如此。而光纤电缆总是这样。

本文介绍了胶体填充光缆的制造和它们的特性, 同时对胶质化合物和纤维涂复材料间的相互作用进行了探讨。

2. 2. 胶质化合物和纤维涂复材料

光纤用硅酮和尼龙进行了二次涂复, (图1), 这样就有必要探

讨论胶质化合物和纤维涂复材料之间的相互作用。用于光纤光缆的胶质化合物的要求如下:

- a) 不影响纤维的光学特性;
- b) 不损害纤维的机械特性;
- c) 不影响涂复塑料的材料特性;
- d) 在高温下不流出, 在低温下不硬化。

试验了几种胶质化合物之后, 选用了聚丁烯这样一种胶质化合物, 它曾用于铜导体通信电缆上。浸泡在胶质化合物的有关涂复材料的测试方法及其结果如下:

(1) 硅 酮

图 2 示出了硅酮在胶质化合物里浸渍 30 天后的抗张强度, 实验且证明, 硅酮的膨胀率在三天内达到饱和 (图 3), 从图 1 可以断定, 对于浸渍在胶质化合物中的硅酮来说, 可以推算, 在 20℃ 的情况下, 浸泡十年多才能使抗张强度下降 10%。

(2) 尼 龙

图 4 示出了尼龙在胶质化合物中浸泡了 30 天之后的延伸率, 由于尼龙的膨胀率在几天内就达到平衡, 因此可以说, 尼龙浸泡在胶质化合物时变质甚小。

(3) 浸泡在胶质化合物中的纤维特性

表 1 中记载了在不同温度下, 光纤在胶质化合物中浸泡了 30 天之后的特性参数。同时还对传输损耗的变化进行了探讨。传输损耗是在 0.85 μm 和光入射数值孔径为 0.2 时测得的。图 5 中的结果表明, 即使光纤在 80℃ 的胶质化合物中放上了 30 多天, 其损耗也不会上升。

以上的初步研究表明, 图 1 所示的光纤可用于制成胶体填充纤维光缆。

3. 光缆设计和制造

已采用第 2 节介绍的纤维和胶质化合物设计和制造出的两种典型的 6 芯和 24 芯胶质填充光缆。

(1) 6 芯光缆

图 6—1 显示了 6 芯光缆的结构，光纤已用塑料线纱制成的缓冲层保护着，使之免于不规则的压力。

这种标准结构被广泛用于制造 10 芯以下的纤维光缆并且已证实结构坚固。在长距离的安装中抗张元件能经受 150kg 的张力，光缆直径为 10mm，重 110g/m。

(2) 24 芯光缆

图 6—2 示出的 24 芯光缆是由 6 芯光缆为一个单元组装而成。改变组装单元数目就可使这种标准结构用来制造芯数相当多的光缆。光缆的中心由 6 对铜导体组成，作为外层的是 4 组 6 芯纤维和两个塑料填充物以与铜线对相同的节距绞合起来。光缆直径 17.5mm，重 250g/m。

上述两种光缆的制造不比一般的胶体填充通信电缆或干燥纤维光缆难。光纤的传输特性可通过绞合、填充化合物或光缆护套程序而得到很好地保护。图 7 表明：成缆后传输损耗的增加小于 0.1 分贝/公里。

4. 胶体填充光缆的特性

(1) 防水性

防水性的测试方法如下：两根光缆样品长度为 100cm。在水平方向，将光缆的一端在 120g/cm² 的水压中放 24 小时。然后在另一端观察是否有水流出（图 8），对每根光缆都进行了两次这样的测试。结果都没有观察到有渗透的水穿过光缆样品。因此可以得出结论：用胶体化合物填充的光缆，不论其有没有垫衬层都具有足够的防水特性。

(2) 温度特性

a. 传输损耗

如图 9 所示，用改变成缆光缆的温度的方法（+20℃→-30℃→-20℃→0℃→+20℃）来检验成缆光纤的传输损耗与温度的关系。在这种测试中采用了 6 芯光缆。图 9 列举了典型光纤的结果。图 9 表明，在温度变化为 +20—-30℃ 时，传输损耗的变化每公里小于 0.2

分贝。在热周期之后又恢复到(20℃)原始值。因此可以得出结论,胶体填充光纤光缆的传输损耗和干燥光缆或没有成缆的光纤一样稳定。

b. 挠 性

低温下的(-30℃)光缆弯曲测试已根据表2中列出的条件进行。在测试过程中监视了传输损耗,但没有观察到传输损耗的变化。胶体填充光缆的良好挠性得到证实。

(3) 机械特性

光缆的机械特性已经按照通常管道敷设条件进行了测试。表3中列出了24芯光缆的测试方法和结果。这些结果表明,通常安装铜导体光缆的技术完全可以用于这种被测光缆。6芯光缆的机械特性情况与24芯一样。

5. 结 论

分别制作6芯和24芯光缆对胶体填充光缆进行了研究。光学和机械测试的结果证明,这样制成的光缆有很好的防水特性以及光学和机械特性。同时制造胶体填充光缆和将它们投入使用时都不存在困难。

表1 纤维结构

芯直径	60 μ m
包层直径	150 μ m
缓冲层直径	350 μ m
护套直径	900 μ m
折射率差	1%
折射率截面分布	梯 度

表2 弯曲试验

弯曲次数	5
弯曲角	180°
弯曲半径	6倍光缆直径
温度	-30℃

表3 机械测试

(24芯光缆)

项	负载条件	结 果
张力	300kg	没有断
压 缩	100kg/50mm	没有断裂, 椭圆率20% 损耗增加+0.02 dB
冲 击	2kg, 100cm 高	没有断裂, 椭圆率30%
扭 转	3 转/m	没有断
弯 曲	r=50mm, 10 倍	"
震 动	25mm, 10Hz, 10 ⁶ 倍	"

张丽玲 译

阮继清 校

陶作民 复校

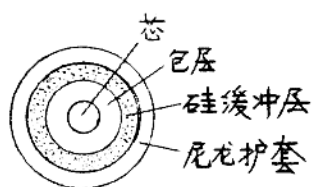


图1 纤维结构

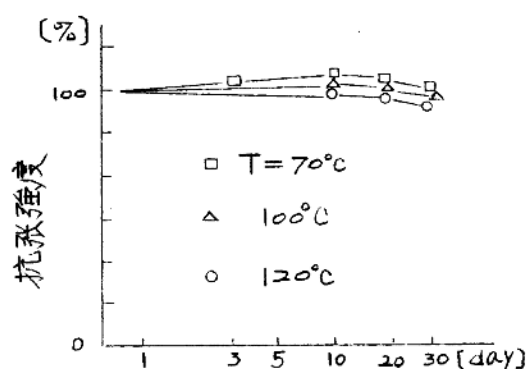


图2 硅酮的抗张强度

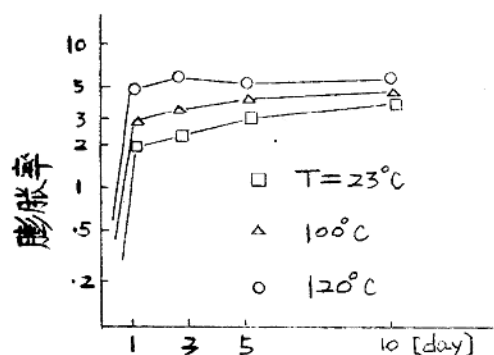


图3 硅酮的膨胀率

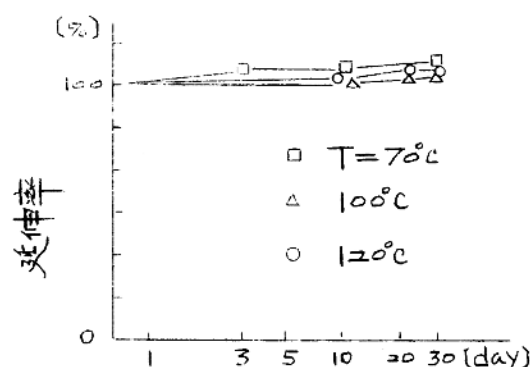


图4 尼龙的延伸率

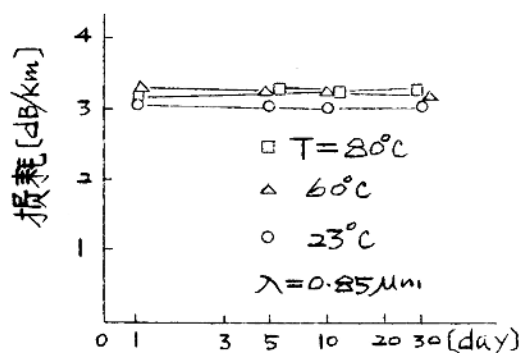


图5 传输损耗

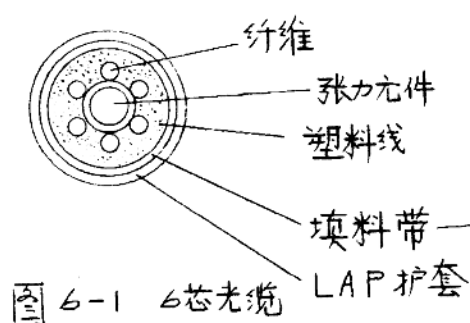


图 6-1 6芯光缆

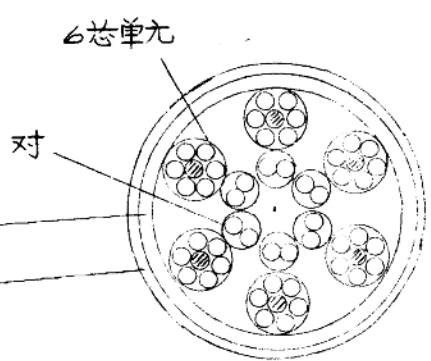


图 6-2 24芯光缆

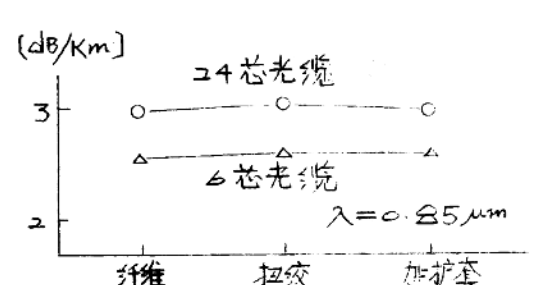


图 7 成缆过程中的损耗变化

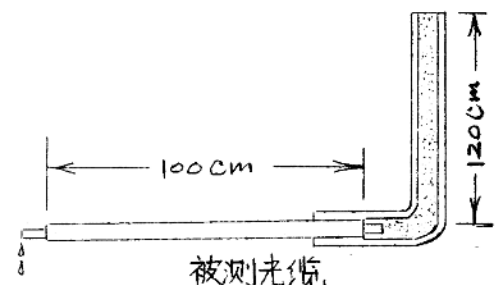


图 8 耐水测试

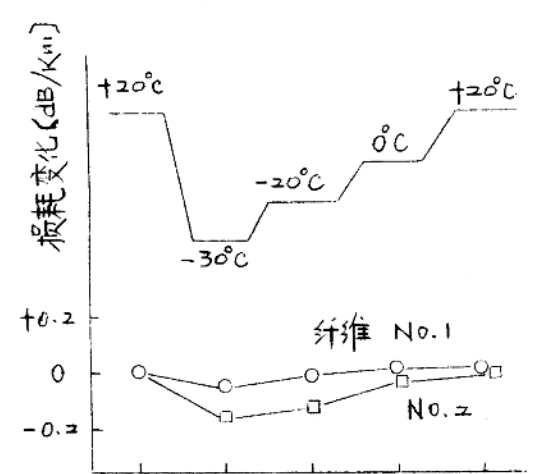


图 9 典型光纤的温度特性

被覆光纤和光缆单元最佳结构的确定

1. 引言

最近研制的低损耗宽带光纤实际上已可作为传输媒质，用于光通信系统中。由于光纤具有细长和轻便的优点。为了操作方便、提高断裂强度和获得长期的可靠性，通常要对光纤进行一次和二次涂覆，经过涂覆的光纤，在一次涂层和二次涂层之间，涂有有机硅酮树脂缓冲层，广泛地用于缓冲侧向压力以及降低温度变化对光谱损耗的影响。至于光缆，以前曾对各种各样的光缆结构进行过检验，为了获得性能稳定的低损耗光缆，在这些结构中，单元型结构被认为是最实用的结构之一。在包含被覆光纤的光缆的实际使用中，它们的最佳结构的设计需要根据理论和实验的研究结果来决定。

这篇论文的目的是从使内部应力减到最小以防止光纤传输特性退化的观点出发，通过分析光纤中由于压力负载产生的内应力，从而提供有关被覆光纤和光缆单元的设计方法。

2. 分析

2.1 分析方法

在纵向压力负载加到被覆纤维和单元上的情况下，使用有限元素法〔2〕分析了光纤中的应力。在这个分析中，总结了采用的材料特性见表1。选择的光纤外径为0.125 mm。

表1 材料特性

	光 纤	尼 龙	缓冲层	单元包封 和芯包封	钢
杨氏模量 kg/mm^2	7300	140	0.12	0.12	21000
横向变形系数	0.23	0.3	0.3	0.3	0.3

光纤中心产生的径向应力被用来作为典型的应力值。有限元素法常常会提出一个精确度的问题。因此，为了确立较高的精确度，在分析之

前就要确定配分数和精密度之间的关系。

2.2 被覆光纤:

考虑的三层被覆纤维结构如图1所示。二次涂层材料是尼龙。缓冲层材料用的是硅酮树脂。从纤维组装到安装的过程。加在被覆光纤上的外力,由单轴加压负载来表示。

图2示出了标称化应力 σ_r/p 与 t_s/a (以 a 为参数)之间的关系。从此图中可以看出,就每个 a 值而言,均存在一个 t_s/a 的最佳值。在这个数值上,使 σ_r/p 变得最小。因此,在 a 的范围为0.5-1.2mm时,确定的 t_s 和 a_s 的最佳值就是:

$$t_s = 0.09a(\text{mm}), \quad a_s = 0.125 + 0.18a(\text{mm}) \quad (1)$$

对二轴加压负载也进行了分析,并且获得了类似的 t_s 与 a 的关系式。

2.3 光缆单元:

图3示用于分析的光缆单元结构。缓冲层(单元护套)包封着绞合在一根钢线上的六根被覆光纤。假定单元上加的是二轴压力。从事实上看,这一假定是合理的。因为光缆芯内所包含的单元,一般来说,在光缆安装过程中,由于受到施加在光缆上的外力的影响而受到来自中心加强构件、外套、以及毗邻单元四个方面的压力。如图3所示。把从一个单元中选出的一根光纤A的中心处的径向应力作为典型数值。

图4示标称化应力 σ_r/p 与单元护套厚度 T_u (a 为参量)之间的相互关系。这里采用的被覆光纤的缓冲层厚度 t_s 是根据方程(1)确定的。我们发现对小的 T_u 来说, σ_r/p 随 T_u 的减小而迅速增大。因此选择的 T_u 最好不要小于0.5mm。

图5示出了 σ_r/p 为常数时,单元直径 D 与被覆纤维直径 a 之间的相互关系。在这个图中,发现一个重要的特性:当容许的标称化应力给定时,就能确定使 D 减到最小的 a 的最佳值。例如:在 $\sigma_r/p = 0.75 \times 10^{-2} \text{mm}^{-1}$ 时,对 $a = 0.9 \text{mm}$ 来说, D 的最小值是4mm。在图5中, $D-a$ 的这种关系,用虚线表示。 σ_r/p 的减小导致光谱损耗的减小而 D 则增加。因此,最好是通过对于许可的损耗增加以及要求的光缆占空间因数进行综合考虑,来更好地确定单元的最小直径。

3. 实 验

为了证实以上的分析,对各种尺寸的被覆纤维和单元施加外力,进行了光谱损耗增加的测试。图6示出了被覆纤维的实验结果。在 a 作为参量时,由外力引起的附加损耗的曲线为 t_s/a 的函数。实验中,使用的纤维参数如下:芯直径为 $50\mu m$,外径为 $125\mu m$,折射率差为 0.1% 正如图2所示理论上的分析结果所预料的那样,我们发现,由最佳缓冲层厚度 t_s 提供最小的附加损耗是存在的。例如:当 t_s/a 等于 0.1 时, $a=0.9mm$ 的最小附加损耗约为 $0.1aB$ 。 t_s/a 的这个值与理论上的值 $t_s/a=0.09$ 正好相符。

单元的实验结果示于图7。这里绘出了在各种 D 值下,单元护套厚度 T_u 与附加损耗的曲线。加封护套时,施加的张力为 5 公斤。从图7中可以看出,在 $a=0.7mm$ 和 $0.9mm$ 的情况下,当 T_u 变小时,附加损耗急骤上升。这种情况与理论上的分析相符。(见图4)附加损耗为常数时,根据图7可获得 D 与 a 之间的关系,结果示于图8中。在附加损耗给定时,可据以确定与最小单元直径相对应的最佳被覆光纤的直径。运用以上理论和实验研究的结果,以及从几根制作的光缆中获得的成缆过程中的损耗增加数据表明: a 和 T_u 分别小于 $0.7mm$ 和 $0.5mm$ 是不合适的。而且,光损耗的温度特性表明,在低温范围内, a 大于 $1mm$,就会导致损耗增加。因此可以认为:为了实现低损耗和相对紧凑的光缆,选择 $a=0.9mm$ 和 $D=4mm$ 是合适的。

4 4. 结 论

当纵向压力负载加到被覆纤维和单元上时,对光纤中的应力进行了分析。从使内应力减到最小以防止传输特性的退化观点出发,已确立了光纤光缆的设计概念。

要点如下:

(1) 为了使应力和附加损耗减到最小,在三层被覆纤维中有一个最佳缓冲层厚度 t_s ,即 $t_s/a=0.1$,其中 a 为被覆纤维直径。

(2) 在正常应力或附加损耗给定的情况下,能求出对应于最小单

元直径 D 的被覆光纤直径。

(3) 根据目前研究的结果, 足以确定最佳的 d 和 D 分别为0.9mm和4 mm。

参考文献:

- [1] T.Naruse, Y.Sugawara, and K.Masuno, Nylon jacketed optical fiber with sylicon buffer layer, Elect. letter, Vol 13, No. 6, 1977
- [2] Y.Fukai, H.Shimodaira, N.Yamaguchi, Frame and Plate Structure Stress Analysis Program, EOL Tech. J., 24, No. 1, p173, 1975

戴 莱 青 译
阮 继 清 校
陈 栋 训
龙 赞 易 复 校

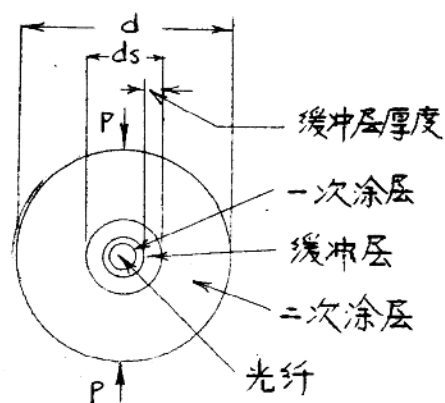


图 1 三层被复光纤的结构

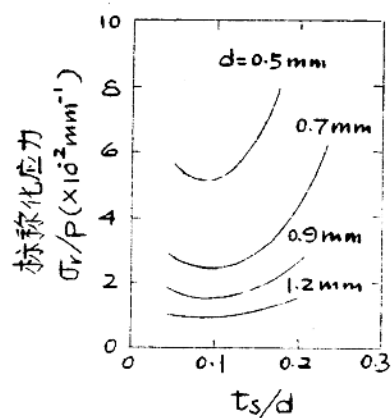


图 2 标称化应力和缓冲层厚度之间的关系

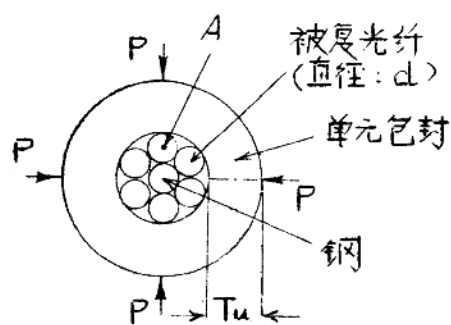


图 3 单元结构

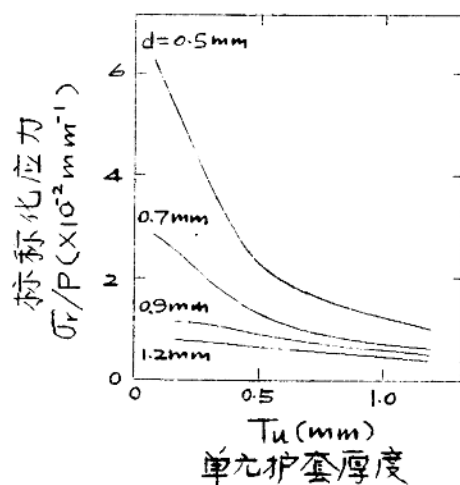


图 4 在三层被复光纤的情况下, 标称化应力对单元护套厚度的关系

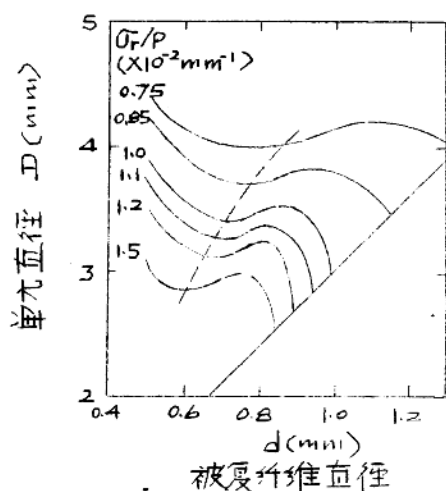


图 5 单元直径和被覆纤维直径之间的关系

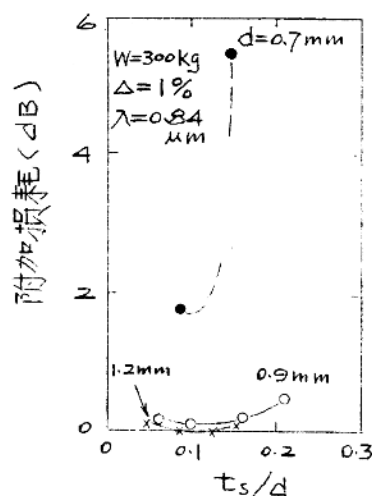


图 6 由压力负载引起的过弯损耗

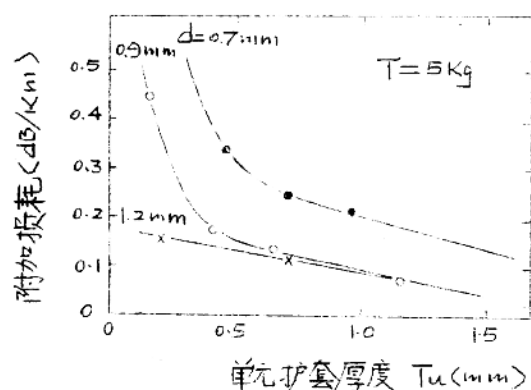


图 7 附加损耗和单元护套厚度之间的关系

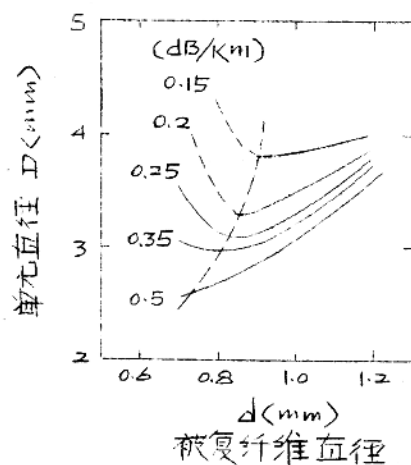


图 8 单元直径和被覆纤维直径之间的关系

单模纤维的成缆

美国Holmdel and Murray Hill贝尔研究所,

P. Kaiser, W.G. French,

D.L. Bisbee and J.W. Shiever

引言

由于最近不断取得的新进展, 单模纤维(SM)作为传输媒介用于大容量通信系统也许比预料的要早些。由于已经获得的光纤的最低损耗为0.5分贝/公里, (在 $1.3\mu\text{m}$ 时), 熔接损耗为0.2分贝和连接器损耗为0.5分贝, 所以50公里的中继距离看来是可行的。在不改变其原有的传输特性的情况下, 成缆后的光纤是否仍能保持这种超低损耗还不能做结论。

纤维的制作和特性

这一研究中所采用的硼硅酸盐单模纤维是用直径为 12mm 的预制棒制成的, 这种预制棒能制成直径 $110\mu\text{m}$, 长约5公里的光纤[2], 在光电显微镜放大器下观察到的标准的芯径(9% B_2O_3 , 91% SiO_2)和包层外径(13%的 B_2O_3 , 87%的 SiO_2)分别是9和 $80\mu\text{m}$ 。用0.0016的折射率差, LP₁₁模的截止波长大约在 $0.80\mu\text{m}$ 。在 $1.1\mu\text{m}$ 波长时, 最低损耗为1.4分贝/公里, 而掺锗的光纤在接近 $1.3\mu\text{m}$ 波长时损耗为0.5分贝/公里, 在这种波长时, 材料色散最小。因此我们也用MVD法来制作掺锗单模纤维。为了防止因沉积纯二氧化硅包层所需的高温而引起的衬底管过早收缩, 我们采用了自动控制设备。该设备可以使衬底管直径保持在预定值之内[3]。用这种设备获得的阶跃折射率多模光纤的最低损耗为0.65和0.5分贝/公里(在 1.30 和 $1.06\mu\text{m}$ 波长的情况下)而单模纤维的损耗却因残存的氢氧根污染仍然很高(在 $1.3\mu\text{m}$ 时为2.5分贝/公里)。

由于是典型的梯度芯折射率剖面, 以及掺锗单模纤维中附加的折

射率降低。第一个高次模的泄漏损耗，并且使单模区延伸到较短的波长〔2〕，由于实用纤维的单模区也受弯曲、微弯曲以及纤维的缺陷的影响〔2.5〕所以单模区域的位置用光谱损耗测试。实验上得到最好的确定。第一个高次模的截止波长区所产生的损耗带的长波长边缘可视为有效截止波长 λ_{cveff} 。 λ_{cveff} 的位置可首先通过测光谱损耗来确定，然后不用参考部分的一只圈数不多的滤模片就可产生图1中阴影损耗区域的上下轨迹。

纤维套塑和成缆

为了保存纤维的强度，并且便于加工，纤维上塑料涂层。在光缆结构中，它们的性能会受到本质的影响〔6〕。采用有机硅树脂缓冲材料对纤维进行二次均匀涂复（ $\sim 50\mu m$ 厚），再用Tefzel 210的氟聚合物外套（ $300-400\mu m$ 外径）。能够获得对微弯曲损耗的高的抗扰性。Tefzel外套的坚韧性以及低摩擦系数使光纤成缆更为方便。对微弯曲损耗的抗扰性，可以通过用不同的张力将纤维多层地缠绕在一个直径为15cm的卷筒上来得到验证（图1）。由于增加了的电磁场对包层的穿透，基模对微弯曲的敏感性在波长较长时更利害。其结果是，由于缠绕张力增加，漏模损耗的增加就会移到较短波长上。同样的， λ_{cveff} 也移到较短波长上。最重要的是，基模的固有损耗维持在一个宽频谱区。与之成对比的是，对具有可比较的护套结构，数值孔径为0.23的梯度折射率多模纤维，甚至使用中等的缠绕张力也发现有过剩损耗（图2）。但另一方面，这种多模纤维在成缆时不会引起过剩损耗〔7〕。要进一步减低对微弯曲损耗的灵敏度，可以通过增加有机硅缓冲层的厚度来实现。减少单模纤维中的微弯曲损耗的潜力已能预测〔8〕。并表明了这是这些光纤进行顺利成缆的一个重要因素。

把加了两层护套的光纤包进两种不同结构的光缆中。图3所示的是一根长1200米的6芯光缆的截面图。它是在实验生产线上成缆的〔9〕。纤维由挤压的聚氨基甲酸酯套层较松散地包绕着。这样有助于纤维不受横向压力的影响，并且能够在弯曲时使应力的均衡。光缆的加固是用12根环绕的Kevlar 49的抗张线，然后套上一层