

塑料光纤传光原理

包令杰

(山东省威海地方铁路管理局电务段, 山东威海 264200)

[摘要] 塑料光纤 POF 之所以能传光是因为光纤具有芯皮结构, 光在 POF 中传输是按全反射原理进行的, 在 SIPOF 中的传输方式为全反射式锯齿型, 在 GIPOF 中的传输方式为正弦曲线型; 子午线就是光线的传播路径始终经过光纤轴并在同一平面内, 选用子午线进行了参数计算, 这些参数计算包括最大入射角或发射光角度、数值孔径、子午线在阶跃型光纤中的几何行程及反射次数; 侧面发光 POF 和荧光 POF 也是按全反射原理进行传光的, 对于单芯侧面发光 POF 多是由非固有损耗导致侧面发光, 而对于多芯侧面发光 POF 则是由弯曲损耗产生侧面发光的。荧光 POF 经过特定波长光激发后发出特定波长的光, 而且激发光不仅可从端面入射, 而且可从侧面入射。

[关键词] 聚合物光纤; 塑料光纤; POF; 传光; 原理

1 前言

光纤自身不能发光, 但光纤可以传光, 用于照明; 光纤照明所选择的光纤, 按照光纤材质的不同, 通常可分为石英光纤、多组分玻璃光纤和塑料光纤 POF 等, 本文主要介绍 POF 的传光原理, 其它的光纤传光原理同 POF 的传光原理是一致的。

1880 年, 威廉·惠勒 (William Wheeler) 提出“管道照明”的设想, 并获得美国专利, 这是有案可查的最早的“遥控照明”装置, 其基本原理是: 用内壁涂有反射层的管子把中心光源的光象自来水一样引至若干个需要照明的地点, 这实际上是光纤用于照明的锥形, 光纤照明系统简单地就可以看作是和上述的“管道系统”相类似的一个系统, 在这个系统中, 所传输的介质是光, 而用以传输光的“管道”就是光纤, 光纤可以把光线从光源处传输至需要照明的特定区域。1954 年, 《自然》杂志发表了 Hopkin's 和 Kapany 成功地用一束 10, 000 到 20, 000 的纤维来传输图像的文章, Van Heel 发现低折射率光纤包层的作用, 纤维的图像传输的成功实现和光纤包层的提出这两个进步标志着光导纤维作为一个新兴学科的诞生; 1966 年, 英国标准电信研究所英籍华裔科学家高锟 (K.C.Kao) 博士和 G.A.Hockham 在详细研究了玻璃的传输损耗后, 撰写的文章《用于光频的介质纤维表面波导》发表在伦敦电气工程师协会 (IEE) 会刊上, 他们从理论上指出: 如果减少或消除光导纤维中的有害杂质如过渡金属离子, 可大大降低光纤传输损耗, 提高光纤的传光能力, 从而推动了光纤制造工艺的研究。

2 光的基础知识

光是通过光源内大量的分子或原子振动而产生的辐射。1894 年, 麦克斯韦从理论上指出, 光是一种电磁波, 1905 年爱因斯坦提出光是一粒一粒的粒子流, 每个粒子可被称为光子。也就是说光既具有粒子性, 又具有波动性, 光在传播时表现为波动性, 而与物质作用时又表现为粒子性。通常我们所说的光是电磁波的一种, 它通常由紫外光、可见光和近红外光组成, 其中 1~390nm 波段的光为紫外光 UV, 波长为 280~300nm 波段为 UV-B, 它的强光可以杀死或严重损伤地球上的生物; 200~280um 波段为 UV-C, 它的强光可以杀死地球上一切生物, 包括人类, 比紫外光频率更高的还有 X 光和 γ 射线等; 390~760nm 波段的光为可见光, 可见光又是由七色光组成的, 即可见光含有红色光、橙色光、黄色光、绿色光、蓝色光和靛青光等色光:

紫色/nm 靛青/nm 蓝色/nm 绿色/nm 黄色/nm 橙色/nm 红色/nm

390~430 430~450 450~500 500~570 570~600 600~630
630~760

国际照明委员会统一规定的标准是: 选水银光谱中波长为 700nm 的红光为红基色光, 波长为 546.1nm 的绿光为绿基色光, 波长为 435.8nm 的蓝光为蓝基色光。常规 POF 一般在紫外光波段并没有很好的透光性, 而石英光纤和特制的液芯光纤在这一区域有很好的透光率, POF 在可见光区域有很好的透光率, 由 POF 芯材选用氟化和氟化聚合物材料制备的 POF 在近红外光区域才有好的透光率。

光在真空中的传播速度是最快的, 传输介质不同, 其折射率不同, 传光速度也不同。相对而言, 折射率大的传输介质是光密介质, 折射率小的传输介质是光疏介质, 对于 POF 而言, POF 芯材为光密介质, POF 皮材为光疏介质, 由于光在光密媒介一芯材中的传播速度会降低, 故光在芯材中的传输速度慢于皮材中的传输速度; 在空气中, 由于 $n \approx 1$, 光波的传播速度接近于真空中的传播速度 C ; 纯 PMMA 的折射率为 1.49, 故光在其中的传输速度约为 2.01×10^8 m/s。

光在均匀媒质或不均匀媒质中传输时, 满足费玛 (Fermat) 原理, 即光从空间一点到另一点是沿着时间为极值的路程而传播的, 即光沿着光程为最小或最大或恒量的路径传播。

3 几何光学理论

要了解 POF 传光原理, 必须了解一些几何光学的基础知识。

首先光学分为几何光学和物理光学, 几何光学是研究光在均匀介质中的传播特性, 通常采用直线来描述, 它是研究光在介质中传播的基础光学理论。物理光学又分为波动光学和量子光学, 波动光学认为光是一种电磁波, 但它不能解释光的微观现象; 量子理论认为光的能量不是连续分布的, 光是一粒粒运动着的光子组成, 每个光子具有确定的能量。几何光学理论的四大基本定律为:

1) 光的直线传播定律: 在各向同性的均匀介质中, 光是沿直线传播的。

2) 光的独立传播定律: 不同光源发出的光线从不同方向通过某点时, 彼此不影响, 各光线的传播不受其它光线影响。

3) 光的反射定律: 当一束光投射到某一介质光滑表面时, 保存一部分光反射回原来的介质, 这一光线称为反射光线, 反射光线、入射光线和法线位于同一平面内, 入射线同法线组成的角称为入射角, 反射光线同法线组成的角称为反射角, 反射角等于入射角, 即 $\theta_1 = \theta_2$, 其绝对值相等, 这就是反射定律。

4) 光的折射定律: 当一束光投射到某一介质光滑表面时除了有一部分光发生反射外, 还有一部分光通过介质分界面入射进第二传输介质中, 这一部分光线称为折射光线, 折射光线和入射光线分别位于法线的两侧, 折射光线位于入射光线和法线所决定的平面内。折射光线同法线组成的角称为折射角, 入射角的正弦值同折射角正弦值的比值为一定值, 这就是折射定律。

需要指出的是采用几何光学分析光在某一研究对象中的传输特性时, 这一研究对象的几何尺寸必须远远大于所传输的光波长, 这样才能忽略波长的长度, 否则就必须采用物理光学分析光在研究对象中的传输特性, 也即是光纤纤芯直径是所传播光波长的几十倍或几百倍时, 其传播现象就可用几何光学而不用波动光学来研究。