

塑料光纤及其应用

王田虎 毛海涛 张锦龙

(河南大学激光电子研究所 开封 475001)

塑料光纤顾名思义,即构成光纤的纤芯与包层都是塑料材料。与石英光纤相比,塑料光纤(POF)价格便宜、制造简单、接续容易、抗冲击强度高和抗辐射等优点,被认为是将取代金属电缆而成为短距离高速传输媒介的核心。

1. 塑料光纤的发展历程

塑料光纤已有 30 多年的历史,最初用于传光、照明和传像等,其后在汽车、医疗和工业控制等方面也取得了成熟的应用和推广,最近在宽带通信领域中也取得了突破性进展。

最早的塑料光纤是美国杜邦公司于 1964 年开发的以聚甲基丙烯酸甲酯(PMMA)为纤芯的塑料光纤,其传输损耗大约为 1000dB/km。

其后,日本的 NTT 和三菱人造丝公司在杜邦公司拉丝技术的基础上致力于降低塑料光纤的损耗,在提高其耐热性和研究梯度折射率塑料光纤(GR-POF)等方面取得了重大成就。

1992 年, Yōshiro Koike 等人用界面凝胶法制造出的梯度折射率光纤,明显降低了塑料光纤的损耗,有效提高了塑料光纤的带宽,为塑料光纤在通信网络中开拓了广阔的应用前景。

2000 年, OFC 会议上,日本硝子玻璃株式会社报道了氟化梯度塑料光纤衰减系数:在 850nm 为 41dB/km、1300nm 为 33dB/km,其带宽已达 100MHz·km。用这种光纤成功地进行了 100m、11Gbit/s 和 5.0m、2.5Gbit/s 的高速传输试验和 70 长期热老化试验。通过实验得出结论,氟化梯度塑料光纤完全能满足短距离通信的使用要求。

美国在塑料光纤的发展历程中也起到了推动作用,美国政府委托波音、BOF 等公司于 1992 年成立了高速塑料网络联合体(HSPA),目标是研制渐变型塑料光纤。通过三年的努力,该联合体已经将塑料光纤技术推向航空、汽车和数据通信市场,并于 1997 年 5 月通过了渐变型塑料光纤的第一个工业标准。

塑料光纤之所以得到世界上许多国家和组织的积极开发,就在于塑料光纤将用于通信网络中 1 千米范围内的网络连接,成为短距离高速通信网络主要的传输媒质。

2. 塑料光纤的优点

塑料光纤与石英光纤相比,塑料光纤在高速短距离通信网络中具有显著的竞争优势,特别在 100 ~ 1000m 范围内带宽可达数 GHz,而成本则与对称电缆相当。同时塑料光纤具有加工容易、弯曲性能好、可以制成大芯径(0.5 ~ 1mm)、大数值孔径(0.3 ~ 0.5)的光纤,且可采用注塑连接器,其连接、分路简单、操作简便、价格便宜、可采用可见光作光源等一系列优点。另外,塑料光纤的重量轻,可绕性好,易于在狭窄的空间内铺设。因此备受人们关注,形成了国际上一个新的研究开发热点。据国际市场分析,塑料光纤将以每年 20% 以上的速度增长,至 2002 年,全世界塑料光纤的销售额估计将高达 10 亿美元。

3. 塑料光纤的性能

目前石英玻璃光纤性能的研究主要定位在损耗、色散、偏振模色散、非线性效应等,而塑料光纤的性能研究重点则是损耗、色散、热稳定性、机械性能等。

塑料光纤的最大缺点是损耗大。塑料光纤的损耗主要取决于所选材料的散射损耗和吸收损耗。其中散射损耗有因为波导结构不完善(如聚合物杂质、光纤中的微空隙、尘埃和气泡、纤芯直径的不均匀、不完整性等)所引起的损耗以及由于瑞利散射引起的损耗。使用合适的包层材料和控制聚合物聚合度与分子量分布,可降低散射损耗。而吸收损耗则是由分子键(碳氢、碳氧等)伸缩振动吸收以及分子键中的不同能级间的电子跃迁引发吸收所致。在以碳氢键为基本骨架的高分子材料中,波长为 650nm 处的吸收损耗大约为 120dB/km。如果用氟原子替代碳氢键中的氢原子后所组成的氟化塑料材料,这样不仅降低了损耗,而且也降低了色散。用氟化塑料制成的梯度折射率光纤,由于其在红外区无原子振动引起的吸收损耗,故可制得在可见光至红外范围的损耗很小,即在 1.3 μ m 波长处吸收损耗为 33dB/km 的梯度型折射率分布的塑料光纤。

带宽是光纤波导的一个重要特点,带宽大小决定了光纤的信息传输能力。增加光纤带宽通常有两种方法:一是减小光纤芯的数值孔径(NA)。较小的 NA 使得光纤中具有传输较低阶的模式,从而减小了模间

色散,故能使光纤带宽得到提高。二是改变光纤芯的折射率。当梯度折射率光纤具有接近于抛物型的最佳折射率分布时,光纤的模间色散最小,可以获得最佳带宽性能。另外,当入射光源的孔径较小时,光纤中只有部分模式激发,色散小于光纤中全部传输模被激发的情形,因而也可以获得相对高的工作带宽。

塑料光纤是由塑料材料制成的,由于塑料熔点低,耐热性能差,通常塑料光纤在高温环境中会发生氧化降解和损耗增大。氧化降解是由于构成光纤芯材料中的羰基、双键和交联形成的。氧化降解促使电子跃迁加快,进而引起光纤的损耗增大。当温度低于-20℃时,塑料光纤将变硬、变脆。

为提高塑料光纤的热稳定性,通常采用的做法是:选用含氟或硅的塑料材料制造塑料光纤;降塑料光纤的光源工作波长选择在大于660nm,以求得塑料光纤的耐热型长期稳定有效。

塑料光纤的一个显著的特点是柔软性能好。例如,一毫米粗的塑料光纤按曲率半径为6毫米作180度的来回弯曲100多次,对塑料光纤毫无损害,透射率并无变化,所以塑料光纤可以十分方便地安装在光纤分线箱内。

4. 塑料光纤的应用

塑料光纤早在上世纪60年代就获得应用。由于受当时技术条件的限制,塑料光纤的损耗较大、寿命较短、传输性能和物理化学性质等也不够稳定,主要用于传光、照明、传像等非通信方面。随着光纤新材料、新型光纤结构以及新理论和新技术等的不断开发应用,现在的塑料光纤已能用于短距离、高速率的数据传输系统。

塑料光纤在未来家庭智能化、办公自动化、工业控制网络化、车载机载通信网和军事通信网的数据传输中具有重要地位。利用塑料光纤可以组成家庭网络,把家用PC、娱乐设施、数字设备、家庭安全设备连成网络,达到家庭自动化和远程控制管理,提高生活质量,还可以实现办公设备的联网,实现远程办公。塑料光纤由于重量轻且耐用,可以将车载机通信网络和控制系统的组成一个网络,将微型计算机、卫星导航设备、移动电话、传真等外设纳入机车整体设计中,旅客还可通过塑料光纤网络在座位上享受音乐、电影、视频游戏、购物、Internet等服务。但是,从塑料光纤自身的特点来看,塑料光纤的应用领域以短距离、中小容量通信系统比较合适,可作为大容量、长距离石英单模光纤的补充,共同构成完整的全

光信息网络有线传输系统。

随着计算机和自动控制技术的高速发展,工业自动化水平提高到一个崭新的高度。工业自动化根据其特点和使用方向可分为过程控制自动化、面向生产和制造业的自动化以及自动化测量系统(工业测量仪表)。这些工业自动化系统的建立和发展都有一个共同特点,即由直接控制系统向集散型控制系统发展,而这种集散型控制系统的发展都是以各种工业网络为基础。通过这些形形色色的工业总线系统,各种工业设备构成一个既分散又统一的整体。对塑料光纤来说,工业控制总线系统是其最稳定和最大的市场之一。通过转换器,POF可以与RS232、RS422、100Mbit/s以太网、令牌网等标准协议接口相连,从而在恶劣的工业制造环境中提供稳定、可靠的通信线路,高速传输工业控制信号和指令,避免了因使用金属电缆线路受电磁干扰而导致通信中断的危险。

在军事通信上,塑料光纤也得到了进一步开发,用于高速传输大量的敏感、保密信息,如利用塑料光纤重量轻、可绕性好、连接快捷、适用于在身佩戴的特点,用于士兵穿戴式的轻型计算机系统,并能够插入通信网络下载、存储、发送、接受关键任务信息,且可在头盔显示器中显示。

5. 塑料光纤技术的发展趋势

塑料光纤用于短距离通信的局域网和接入网的前景不可估量,从塑料光纤技术的发展历程看,还有许多问题需待进一步研究解决。主要有以下几个方面:

进一步降低传输损耗。塑料光纤的传输损耗由初期聚甲基丙烯酸甲酯(PMMA)芯光纤的1000dB/km以上到现在氟化物芯光纤的15dB/km左右,降低了近100倍。塑料光纤的传输性能以及耐热性、耐湿性、耐酸碱性等物理化学稳定性方面都获得了大幅度的提高。随着研究的不断深入,其损耗还将进一步减小,如采用吸附分离等先进的单体精制技术,引入高折射率,掺入量的折射率修正剂,以及开发新型全氟化聚合物等。

进一步增大传输带宽。塑料光纤的带宽由最初的渐变折射率塑料光纤(SF-POF)的几个MHz增加到现在的梯度折射率塑料光纤的数个GHz,提高了近3个数量级。由于氟化物塑料光纤的材料色散很小,因此通过优化光纤芯区折射率的分布形式,创造新型的光纤结构,进一步降低模间色散,采用空分复用和波分复用等技术,塑料光纤的传输带宽可望达到10GHz·km以上。

浅析电流频率对人体电击伤害的影响

李怀伦

(河北能源职业技术学院基础部 河北 唐山 063004)

触电事故是电流的能量直接或间接作用于人体造成的伤害。电流对人体的伤害虽然是个复杂的问题,但按照能量施加的方式的不同,它对人体的伤害可分为两种类型。即电击和电伤。

电击是电流通过人体内部,人体吸收局外能量受到的伤害。它主要影响呼吸、心脏和各种神经系统,造成人体内部组织的破坏,甚至死亡。电击是全身伤害,但一般不在人身表面留下大面积明显的伤痕。

电伤是电流转变成其他形式的能量对人体造成的伤害。它主要表现为:以电流的热效应为主的对人体外部造成局部伤害,即电能转化成热能造成的电弧烧伤和电灼伤,产生的热量由焦耳楞次定律 $Q = I^2 R t$ 来决定。其次是电能转化成化学能或机械能造成的电印记、皮肤金属化和机械损伤等。实际上,在触电事故发生的瞬间,电弧温度可高达 5000 左右,除烧伤人体表面外,还会伤及体内,造成死亡或残废。电伤多是局部性伤害,在人体表面留有明显的伤痕。

一般情况下,两类伤害可能同时发生。实践证明,在低压系统触电事故中绝大部分都是由电击造成的,但从各种类型的触电事故外观来看,给人感觉好像电伤要比电击严重的多。在所有的用电安全手册中虽都已详细地阐明了触电事故的严重程度与通

过人体的电流强度大小、电流通过人体的持续时间、电流通过人体的途径及人体健康状况等因素有关,同时也指出了频率分布在 30 ~ 300 赫兹的电流对身体伤害程度最深,至于为什么在该频率范围内对机器设备运行合理,但对人却有如此大的危险,各参考书和教材都没有做出任何的说明,本文将对该问题做一些浅显的探讨。

1. 人体对不同频率电流的反应

人体在电流的作用下,会有麻、针刺、打击、疼痛、痉挛、呼吸困难、血压升高、心跳不规则、心室颤动等感觉或症状。实践证明,不同频率的电流对人的生理作用是不同的,性别不同对不同频率电流的感知阈值、摆脱阈值、室颤阈值也是不同的,不同频率的电流对人体作用的比较,可参考下表:

种 类	工频电流		直 流	10 ⁴ Hz 电流
	男	女		
平均感知阈值, mA	1.1	0.7	5.2	12
			3.5	8
平均摆脱阈值, mA	16	10.5	76	75
			51	50
室颤阈值(通电时间 1s), mA		50	200	—

由上表可看出,对不同频率的电流男性的人体感知电流和摆脱电流均要高于女性。对于室颤阈值工频电流要低于直流,也就是说,工频电流对人体的

进一步使连接器标准化。在连接器方面,塑料光纤比二氧化硅光纤要简单得多,与金属电缆属于同一级。还必须对连接器进行研究,并实现连接器的标准化。

进一步降低成本。目前正在使用中的金属电缆的市场价格非常便宜,而通信用的塑料光纤成本比较昂贵。虽然由于光纤本身较短,对系统成本影响不太大,但仍是因素之一,限制了塑料光纤的应用。光源与接收器的成本也是重要因素,应当引起适当重视。塑料光纤链路的成本低于金属电缆链路的成本,才会对塑料光纤链路的推广应用起积极的作用。

纳入相应标准。目前已有关于塑料光纤的 AIM^{*} 论坛标准和 IEEE1394. b 标准,但尚未纳入国际和国家的布线标准中,例如 ISO11801、美国 TIA/ EIA568 —A 等,应在适当时间把塑料光纤纳入其中。

总之,由于塑料光纤数值孔径和受光角度较大,光耦合效率较高,易于连接,韧性好,重量轻,易于加工,且成本低廉等,而具有广阔的应用前景。塑料用于通信中是网络界的一大突破,特别是面对现在短距离高速宽带网的发展旺势,塑料光纤将成为新一代短距离高速通信的光传输介质,可望成为光纤入户和光纤到桌面工程理想的首选的材料。

* AIM 意即异步传输模式,AIM 物理层是 ATM 模型的最下面一层,它由传输会聚子层和物理介质组成,负责信元编码并将信元交给物理介质。