

光
缆
施
工
与
维
护
技
术

光缆施工 与维护技术

〔日〕渡边高信 清水至

柄本刚 编著

赵灵基 冯佩珍 张国海 译

514

3

● 人民邮电出版社

光缆施工与维护技术

〔日〕渡边高信 清水至 柄本刚 编著

赵灵基 冯佩珍 张国海 译

人民邮电出版社

GI型・SM型

光ファイバエレクトロニクス技術

執筆者 渡辺高信 清水至 柄本剛

日本電信電話公社保全局

内 容 提 要

本书主要介绍GI(多模)、SM(单模)单元式光缆施工技术和维护方法,内容包括光纤通信基础、光缆技术、光器件、光缆传输方式、光缆施工设计及光缆的维护方法等。本书着重于工程的实际应用和现场维护,对光纤通信的基础理论仅作了简单地介绍。为了便于技术人员查阅,书中示有大量图表。

本书可供从事光缆通信工作的工程技术人员阅读,也可作为电信专业学校的师生学习参考。

光缆施工与维护技术

〔日〕 渡辺高信 清水至 柄本剛 编著

赵灵基 冯佩珍 张国海 译

人民邮电出版社出版

北京东长安街27号

北京兴华印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

开本: 787×1092 1/16 1990年4月 第一版

印张: 14 8/16 页数: 116 1990年4月北京第1次印刷

字数: 362 千字 印数: 1-5000 册

ISBN7-115-04102-4/TN·295

定价: 6.30元

译 者 的 话

光纤通信技术进入实用化后，仅十多年的历史，就在整个世界范围内得到极其广泛地应用。在八十年代初，我国在市话中继线路上，也正式应用了这种技术，目前，全国各地正积极推广。

随着光纤通信技术的发展，国内有关光纤通信的书籍愈来愈多。但是，介绍光缆施工和维护方面的书却少见，而这又是当前从事施工及维护方面的工程技术人员的急需读物。因此，我们翻译了这本书。

该书主要讲述GI型（多模）、SM型（单模）单元式光缆施工技术和维护方法。但为了使一般缺乏光纤通信知识的人员也能看懂，作者用浅显的道理、简单扼要地介绍了光纤通信的基础知识。该书的工程技术性强，比较全面地、详细地阐述了光缆施工的设计方法、维护方法和管理方法。所以，该书对于从事光缆施工和现场维护的工程技术人员、光纤通信方面的工作人员，是一本比较有参考价值的读物；对于中等专业学校，技工学校的师生也是一本很好的培训教材。

我们对原书中个别笔误及有排印错误的地方作了订正，还对几处参考价值不大的内容进行了删节。

本书译稿承朱永藩高级工程师校对过，并提了宝贵意见，在此表示感谢。鉴于译者水平有限，译文中会有缺点、错误，欢迎读者批评指正。

译 者

1989年2月

前 言

光纤与铜导线相比，具有损耗低、传输频带宽、无电磁感应、无串话、芯径细、重量轻等特点，所以，将它作为信号的传输线路，可扩大通信容量、延长中继距离，而且对于今后非电话业务所不可缺少的各种数字传输方式和图像通信方式，是一种使用面广、灵活性强、经济而又理想的传输介质。

本书介绍了正式采用光缆传输方式时所需要的技术和维护方法。

目 录

1 光纤通信概要	(1)
1.1 光纤通信的发展历史	(1)
1.2 光纤通信方式的基本构成	(2)
1.3 光的性质	(3)
1.4 光在光纤中的传播	(6)
1.5 光纤通信的特点及应用范围	(9)
2 光缆技术	(13)
2.1 光纤的分类	(13)
2.2 光纤传输特性	(16)
2.2.1 光损耗	(16)
2.2.2 基带特性	(19)
2.2.3 光缆和金属电缆的区别	(21)
2.3 光纤的机械特性	(22)
2.4 光缆的制造	(23)
2.5 光缆的连接	(26)
2.6 光缆的测量	(30)
2.6.1 光损耗的测量	(31)
2.6.2 基带特性的测量	(31)
2.6.3 光纤反射光的测量(光脉冲测试)	(33)
2.6.4 光纤的激励方法	(34)
2.7 光缆的敷设	(35)
3 光器件	(37)
3.1 发光和光检测的原理	(37)
3.2 发光器件	(38)
3.3 光接收器件	(38)
3.4 光纤连接器	(38)
4 光缆传输方式	(40)
4.1 概要	(40)
4.2 光缆	(42)
4.2.1 线路构成	(42)
4.2.2 GI型和SM型单元式光缆的种类、结构以及光、电特性	(43)
4.3 传输方式和端局设备	(53)
4.3.1 系统构成	(54)
4.3.2 主要指标	(55)
4.3.3 光纤的端局设备	(56)
5 GI型和SM型单元式光缆的施工设计方法	(58)

5.1	设计方法概要	(58)
5.2	敷设张力的计算方法	(64)
5.3	短光缆施工的设计方法	(67)
6	GI型和SM型单元式光缆的维护管理方法	(72)
6.1	维护时应考虑的问题	(72)
6.2	维护区段的划分	(72)
6.2.1	线路与局内机械设备在维护上的分界点	(72)
6.2.2	线路部门与测试部门的作业分工	(72)
6.3	故障的管理	(73)
6.3.1	设备的维护标准	(73)
6.3.2	故障的区分和基本分类	(76)
6.3.3	管理	(78)
6.3.4	报告及处理	(79)
6.3.5	故障的预防	(87)
6.3.6	故障的处理	(91)
6.3.7	检修故障的日常准备工作	(92)
6.3.8	故障位置的判断	(94)
6.3.9	修理故障方法的选定	(96)
6.3.10	修理故障的方法	(96)
6.4	固定资产的管理	(98)
6.5	施工记录的管理	(99)
6.5.1	市话线路	(100)
6.5.2	长途线路	(107)
6.5.3	土木建筑	(111)
7	GI型和SM型单元式光缆的维护施工方法	(113)
7.1	光缆的敷设	(113)
7.2	光缆的连接	(119)
7.2.1	GI型和SM型单元式光缆的连接	(119)
7.2.2	光缆的更换接续	(170)
7.2.3	光纤心线软线的修理连接	(174)
7.3	GI型和SM型单元式光缆的测量	(181)
7.3.1	测量仪器的使用分类	(181)
7.3.2	光损耗	(182)
7.3.3	基带特性	(193)
7.3.4	光脉冲测试	(198)
7.3.5	故障位置的准确探测	(209)
7.4	防水方法	(217)
7.4.1	外护套连接部分的防水方法	(217)
7.4.2	末端的防水方法	(218)
参考	名词的定义	(223)

1 光纤通信概要

光纤与以往的铜质电缆相比,具有损耗低、频带宽、无电磁感应等传输特点。因此,人们希望将光纤作为灵活性强且经济的优质传输介质,广泛地应用于数字传输方式和图像通信方式中。这两种通信方式在今后非电话业务的发展中是不可缺少的。

光纤和以往的铜导线相比有本质的区别,因此,在传输理论、制造技术、连接方法、测试方法等方面,基本上都不能采用铜质电缆的理论和方法。

为了了解光缆技术,本章对光的性质、光在光纤中的传播和光纤通信的特点等加以介绍。

1.1 光纤通信的发展历史

利用光来传递信息是从古代烽火台开始的。此外,利用太阳光的反射、信号旗以及扬旗式通信机(1791年,由法国人夏浦发明)等通信方式都属于用光来传递信息的范畴。在贝尔发明电话机(1876年)的数年之后,他又利用太阳光、硒管,试制出光电话机(photophone),并且,在几百米的空阔,成功地进行了光通信传输实验。

1960年,利用红宝石棒成功地发射出空间相干光(光的相位完全一致的光),从而发明了激光器,迎来了正式研究光通信的时代。激光具有超带宽传输的能力,问题是采用什么样的线路来传导激光。曾经设想出种种传输介质。提出的方案有:空间传播(但在雨雾中衰减大)、中空波导管(可是金属内表面加工及弯曲困难)、采用透镜或者镜面式光波导(虽然可补偿因绕射引起的扩散,但是,安装精度和弯曲都有困难)、各种电介质波导(可是,达不到预期的低损耗值)以及气体透镜波导(在波导中要使气体保持一定的热分布,以便控制气体的折射率分布,为了使光封闭在波导线路内,就要做成中心折射率高、边缘部分折射率低的光波导)等,并且都进行过实验。虽然,在气体透镜波导中,热分布控制方面存在着困难,没有达到实用化的目的,但是,使光波导具有一定的折射率分布,以用来导光的设想,已成为现在渐变型光纤结构的基础。

在盛行研究光波导的初期,所制作的光纤的损耗值高达几百~几千dB/km。因此,一般人认为将光纤应用于光通信是不现实的。可是,在1966年,英国STC公司研究员高锟与霍克哈姆(Hockham)分析了当时玻璃损耗不能降低的原因,并指出有大幅度降低光损耗的可能性,进而提出光纤可能作为通信传输线路的设想。1970年,美国康宁玻璃公司成功地制造出损耗为20dB/km的光纤。于是,发展光纤通信就成为现实。同年,半导体激光器在室温条件下连续振荡首次获得成功,这也是通信发展史上的大事。

以后,日本全国都以低损耗光纤和长寿命半导体激光器为重点,进行了许多与光纤通信有关的研究,并取得了惊人的成就。

日本电报电话公司通信研究所,利用这些研究成果,对中、小容量传输方式

(6.3Mbit/s~100Mbit/s)和图像传输方式进行了现场试验,并取得了满意的结果。在1981年,中容量传输方式(F—32M, F—100M)首次进入日本的公用通信网,并转入商用,1983年初正式投入使用。

另一方面,采用单模光缆、传输容量可达400Mbit/s的大容量传输的商用试验,将在纵贯日本的札幌——福冈线路上进行,该工程已从1983年2月开工*。

1.2 光纤通信方式的基本构成

本节将说明光纤通信的基本构成、调制和解调。

(1) 基本构成

通信原理可以用山农的通信模型来说明,如图1.1所示。**

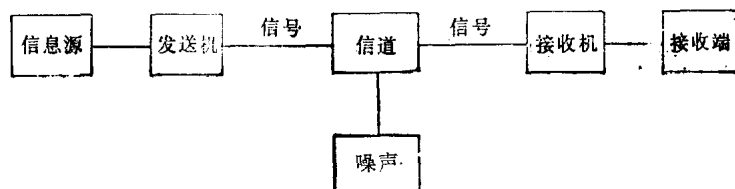


图1.1 山农的通信模型

对于光纤通信系统来说,上述模型可作如下考虑。

信息源: 电信号(可以认为信息已变成现有的电信号)

发送机: 将电信号转换成光信号的E/O***变换部分

信道: 包括作为传输介质——光缆的中继传输线路

接收机: 将光信号转换成电信号的O/E变换部分

噪声: 中继传输线路中的信号失真

接收端: 得到与信息源相同的电信号。

因此,可将光纤通信系统的基本构成简化成图1.2。

采用平衡电缆或者同轴电缆传输方式的基本构成如图1.3所示。

(2) 调制

发光器件将电信号变成光信号,同时完成光调制。在电气通信领域内,所谓调制是指载波频率随着信息信号而变化。但是,在光纤通信中,严格地说,发光元件发出的光(光载波)频率(波长)通常不是恒定值,而是有一定的宽度。也就是说,在时间上不是相干光,所以与目前所说的调制相比,在某些意义上不完全相同。

光纤通信中的调制就是使带有噪声性质的非相干光强度(功率)进行变化,这种情况示

* 据文献报导,该工程从旭川到鹿儿岛,已于1985年2月竣工。

** 略有删减。——译者

*** 电(Electric)光(Optic)变换简写成E/O;相反的变换写成O/E。



图1.2 光缆传输方式的基本构成

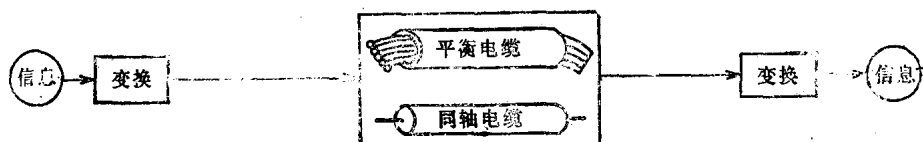


图1.3 电缆传输方式的基本构成

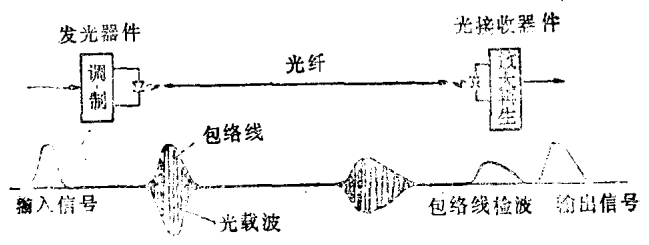


图1.4 光信号的调制与传输

于图1.4。

在光通信中，也用模拟调制和数字调制这两个名词，这是指将信息变换成电信号时的调制方式。但光的调制方式是使光强度再按照这个已调制的电信号变化。因此，假若电信号连续变化（模拟调制），那么，光信号的强度也与其相应地进行连续变化；假若电信号为脉冲式地变化（数字调制），那么光信号的强度也相应地作脉冲式变化（即光信号的有无），但光信号始终是强度调制。

（3）解调

将经过光纤传输已有微小失真的光信号注入到光接收器件后，就能得到电信号。这个电信号波形与其说是与光载波相对应，还不如说是与光载波群构成的光信号包络线的基带信号相对应。

该基带信号经过放大、再生的电处理后，就能得到与信息源相同的输出信号。

1.3 光的性质

要想理解光纤传输原理，就必须了解光的各种性质。

关于光的性质，有两种学说，即粒子学说和波动学说，而这里主要叙述在几何光学中早就确立的光线的性质。

(1) 光是电磁波

1867年英国人麦克斯韦证明了光是一种电磁波。1884年德国人赫兹发现电波，並明确了电波、光、热辐射都是电磁波，只是波长不同。

根据波长或者频率的不同，电磁波可按图1.5命名。

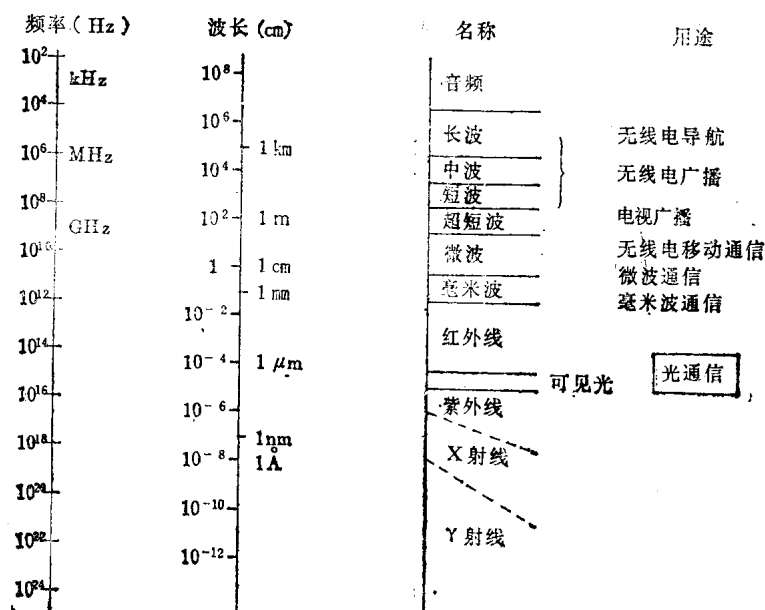


图1.5 电磁波的种类和名称

(2) 光的折射与反射

如果从水的外面观察水中的物体，会感到物体处在比实际深度还要浅的位置，如图1.6所示。这种现象是由于在同一种物质中作直线传播的光，当通过不同物质时，在分界面上发生折射所引起的。

通常，当光通过折射率不同的两种物质时，在它们的分界面上，一部分光发生反射，另一部分发生折射，如图1.7所示。将经过入射点且与两种物质的分界面相垂直的面（法线面）和入射光线所成的夹角称为入射角，与反射光线所成的夹角称为反射角。

入射角和反射角的大小与物质的折射率无关，在任何情况下它们都相等。

此外，将法线面和折射光的夹角称为折射角，当光射入折射率小的物质时，折射光就靠

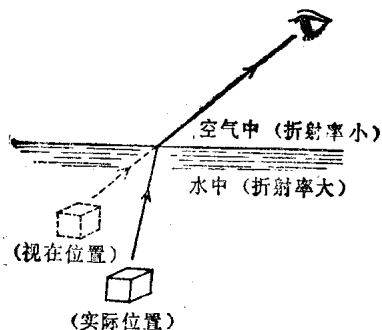


图1.6 光的折射

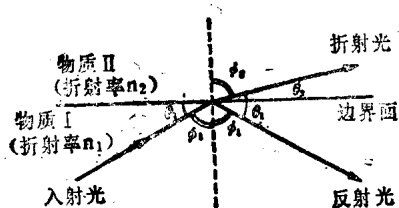


图1.7 在不同物质的分界面上光的反射和折射（图中设 $n_1 > n_2$ ）

近两种物质的分界面传播。因为水的折射率为1.33，空气的折射率为1.0，光从水中射入空气时就相当于这种情况。如图1.6所示，若从上面看水槽，所看到的现象就好像水中的物体处在比物体的实际深度还要浅的位置。

相反地，当光从折射率小的物质射入折射率大的物质时，折射光就偏离两种物质的分界面传播。

这里，利用图1.7，比较详细地说明光从折射率大的物质射入折射率小的物质时所发生的现象。

首先，当光从垂直于两种物质的分界面入射时，在界面上，一部分光反射，另一部分仍旧按照原来方向向前直射，好像界面不存在一样。如果入射角 ϕ_1 逐渐增大，那么，无论在什么情况下，折射角 ϕ_2 都以比 ϕ_1 大的角度（靠近界面）折射。而且，总可以达到这么一种情况，当光以某一入射角入射时，其折射角 ϕ_2 为 90° ，也就是折射光完全在分界面上传播。若进一步增大入射角，那么，光就不再进入物质Ⅱ，而被全部反射。这种现象称为全反射。

当从水中向外观察时，水面就像镜子一样闪闪发光而看不到外面，这就是全反射现象，如图1.8所示。

当折射角恰好为 90° 时，入射角 ϕ_1 称为临界角 ϕ_c 。（或者将 θ_2 为 0° 时的入射角 θ_1 称为临界角 θ_c 。）

另一方面，当光从折射率小的物质射入折射率大的物质时，无论在什么情况下，入射角都比折射角大，不会引起全反射。

利用图1.7的符号，将上述的折射率和折射角、入射角的关系，以斯奈尔定律的形式表示如下：

$$\frac{\sin \phi_2}{\sin \phi_1} = \frac{n_1}{n_2} \quad (1.1)$$

这个关系式，若用 θ_1 和 θ_2 表示，则为：

$$\frac{\cos \theta_2}{\cos \theta_1} = \frac{n_1}{n_2} \quad (1.2)$$

(3) 光的干涉

光的波动性质可用光的干涉现象来说明。所谓干涉就是两个波相遇时，随着它们的相位变化，它们的合成波振幅出现时而加强、时而减弱的现象。例如，当两个波的相位差为 π 的偶数倍时，两个波相互加强，其合成波的振幅增大；为 π 的奇数倍时，两个波相互减弱，甚至可以完全抵消。

(4) 光的绕射

我们曾经说到光的传播具有直线性，实际上，光会迂回到障碍物的背面，这种现象称为

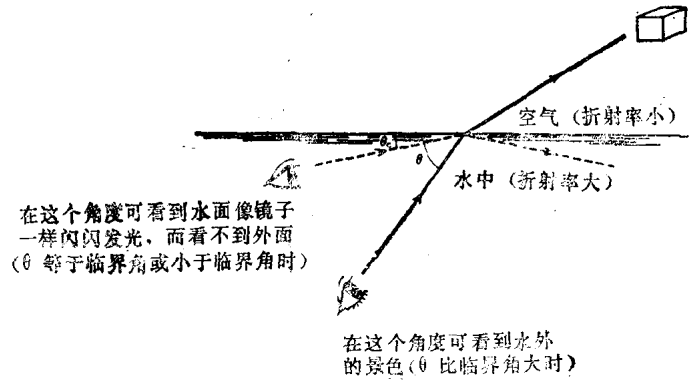


图1.8 从水中观察时，看到水面像镜面一样的现象

光的绕射现象，是波动共有的现象。例如，在利用防护堤围成入口狭窄的鱼港，可看到外面的水波会迂回地传播到防护堤的内侧。光是一种波，也会产生这种绕射现象。

例如，从窗栅缝隙间看射入的光线就好像比缝隙宽了些；从手指缝中看灯光，还会看到一些纵向条纹，这都是绕射现象。尤其是后者出现的纵向条纹，实际上是绕射光相互干涉后所产生的明、暗相间的条纹图样。

1.4 光在光纤中的传播

为了了解光在光纤内的传播情况，本节首先将光看作单纯的光线，再根据全反射原理阐述光的传播情况，然后，考虑到光的相位，并将光作为一种电磁波，再作详细地说明。

(1) 光纤的基本结构

光纤的基本结构，是在纤芯玻璃的周围包一层折射率稍低的包层玻璃。将折射率高的部分称作纤芯，而折射率低的部分称作包层。将纤芯折射率为常数、芯与包层之间的折射率成阶梯状变化的光纤称为阶跃型光纤，其结构如图1.9所示。纤芯直径和包层直径随光纤的类别（在2.1节叙述）不同而不同。多模光纤的纤芯直径为 $40\mu\text{m}$ — $100\mu\text{m}$ （ $1\mu\text{m}$ 是 1mm 的千分之一）；单模光纤的纤芯直径为 $5\mu\text{m}$ — $15\mu\text{m}$ 。此外，包层直径一般为纤芯直径的2—3倍；纤芯的折射率比包层折射率约大1%。

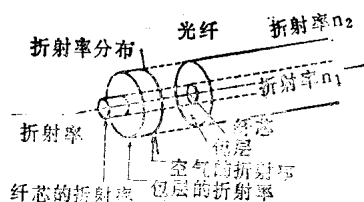


图1.9 光纤的基本结构（阶跃型）

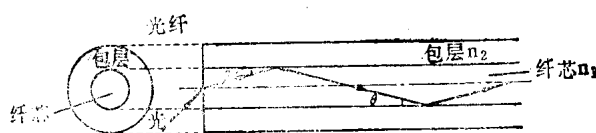


图1.10 光在光纤内的传播（子午光线）

(2) 光通过全反射进行传播（从光线的观点来看光的传播）

因为光纤的结构是在折射率高的纤芯周围包有低折射率的包层，所以当光从纤芯内部射到芯与包层的界面上时，如果入射角比上述的临界角 θ_c 小，就会发生全反射。全反射的光又以同样的入射角 θ_c 入射到对面的芯与包层的分界面上，再次发生完全相同的全反射。这样重复反射，光就被封闭在光纤内，并沿长度方向传播，如图1.10所示。

在图1.11中，首先看光线①。但是，必须注意折射率 n_0 （空气） $< n_2$ （包层） $< n_1$ （纤芯），与光纤中心轴（图中的点划线）夹角较大的入射光，在光纤端面（它是空气与纤芯的界面，所以，光是由折射率小的物质入射到折射率大的物质）上折射，并靠近中心轴射入光纤内。光线进入光纤后，射到纤芯与包层的分界面上，这时，相当于光从折射率大的物质向折射率小的物质的入射。

光线①远离垂直于芯与包层的分界面的法线面（即靠近界面），并透过界面而折射。在芯与包层的分界面上，因光线①的入射角大于全反射的临界角 θ_c ，所以它透过纤芯和包层完

全辐射掉。当然，正如图1.7所示，即使在光线①的情况下，也仍然有部分光（百分之几）由纤芯与包层的界面上反射回来，在纤芯内传播。可是，它的绝大部分（90%）又在对面的纤芯与包层的界面上折射透过，最后辐射出光纤。这样，入射光线①在入射端附近很快地被衰减，在光纤中不会传播很远。

其次，讨论光线②。它和光线①一样，以某一角度从光纤端面入射到纤芯与包层的界面上。这时的角度正好等于纤芯与包层在界面上全反射的临界角，所以光线②产生全反射而没有进入包层，也就是说入射光线没有辐射而被封闭在纤芯内，边反复进行全反射边在光纤内部传播。假若将此时的光纤端面的入射角设为： θ_{max} ，那么，以小于 θ_{max} 角度入射的光线③，当然不会产生辐射，同样被封闭在纤芯内传播。

从上述情况可知，所谓光纤就是一种利用芯、包层玻璃的折射率差，对光产生一定的“壁垒”作用，从而防止光向外射出的导光玻璃纤维。

（3）传导模（从电磁波的观点来看光的传播）

在上一节中，是将光看成单纯的光线来说明它在光纤内的传播。可是，要想进行严格地讨论，就必须考虑光的电磁波性质，即波动性质，也就是说必须考虑到光的相位。在这种情况下，导波光称为传导模，它由特定的光线组表示。这些光线组应满足相位变化量所制约的条件（相位一致的条件）。若用这种传导模说明光的传播时，导波光就不能用在（2）项中所述的满足全反射条件（ $\theta < \theta_c$ ）的连续（对应于 $\theta < \theta_c$ 的所有角度）光线表示，而要用满足相位一致条件的离散光线组（传导模）表示。

为了研究这个问题，可以利用图1.12所示的平面波导来讨论反复全反射的光线，（在波动学中，等相面是平面的波称为平面波）。

可以根据图1.12推出阶跃型光纤和平面光波导的相似性，若考虑各自的纵断面，就可看出它们的结构完全相同。

现在，设真空中（或者空气中，折射率 $n_0 = 1$ ）的光速为 c ；角频率为 ω （ $\omega = 2\pi f$ ， f 为光的频率）；波长为 λ ，则

$$k = \frac{\omega}{c} = \frac{2\pi}{\lambda} \quad (1.3)$$

k 是光在真空中的传播常数，它表示在真空中光传播单位长度时，光相位的变化量。

此外，在折射率为 n_1 的介质中，光的传播速度： $v = c/n_1$ ，比真空中的传播速度慢，这

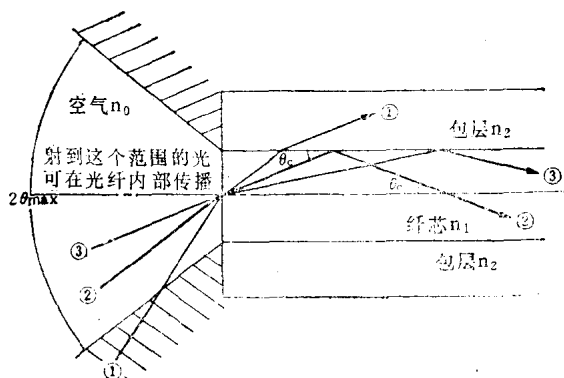


图1.11 在光纤端面上光的入射

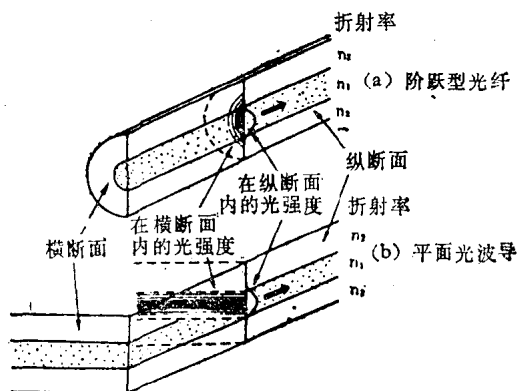


图1.12 在纵断面观察光纤和平面光波导的相似性

时的传播常数可用 $kn_1 = \omega/v$ 表示。图1.13中所表示的光线传播常数为 kn_1 ，当光在芯与包层的界面上发生全反射时，会受到古斯汉欣相移 $-\Phi$ （相位延迟角 Φ ）的影响。

为了研究图1.13(a)所示的光线相位一致的条件，可利用在芯与包层的界面上以等角发生全反射的两条光线①、②，如图(b)所示。这里考虑光线①②的理由，是因为实际的光具有一定的光束宽度，只用一条光线不能完全表现出它的波动性质。

在该图中，B、C表示即将发生全反射之前的点，D表示发生全反射之后的点，虚线表示相位相等的平面。A、C点或者B、D点都在同一虚线（等相位面）上，所以A和C点、B和D点光的相位相等，这就形成了相位一致的条件。因此光线①从C点传播到D点期间，所产生的相位变化量和光线②从A点传播到B点产生的相位变化量之差是 2π 的整数倍，即 $2N\pi$ （N为整数），这就是相位一致条件。

A、B间的距离 s_1 为

$$s_1 = \overline{BC} \cos \theta = 2a \left[\frac{1}{\tan \theta} - \tan \theta \right] \cos \theta = 2a \left[\frac{\cos^2 \theta}{\sin \theta} - \sin \theta \right] \quad (1.4)$$

C、D间的距离 s_2 为：

$$s_2 = 2a / \sin \theta \quad (1.5)$$

因此，光线①从C点传播到D点受到的相位变化量，可用经过两次全反射产生的古斯汉欣相移 -2Φ ，和以传播常数为 kn_1 、在距离 s_2 上传播过程中发生的相位变化量 $kn_1 s_2$ 之和表示。另一方面，光线②从A点传播到B点期间，因为传播常数为 kn_1 ，所以相位变化量就等于通过距离 s_1 传播的相位变化量 $kn_1 s_1$ 。因此有：

$$(kn_1 s_2 - 2\Phi) - kn_1 s_1 = 2N\pi \quad (1.6)$$

若用 θ 表示该式，则有

$$2kn_1 \cdot 2a \cdot \sin \theta - 2\Phi = 2N\pi \quad (1.7)$$

这就是光在光波导内传播的条件，而满足这个条件的光线组称为传导模。

图1.14表示古斯汉欣相移 Φ 的大小和 $kn_1 \cdot 2a \cdot \sin \theta$ 与 θ 的关系。因为全反射临界角 θ_c 由纤芯折射率 n_1 和包层折射率 n_2 决定，所以一旦确定了光波导和光波长，那么 n_1 、 n_2 、纤芯直径 $2a$ 以及真空中光的传播常数也就确定了，而且满足式(1.7)的最大N值也就确定了。例如，图1.14所示的例子，可以取 $N=0$ 、 $N=1$ 、 $N=2$ ，与之对应的传导模称为零次传导模、1次传导模和2次传导模。

将与 $N=0$ 、1、2相对应的光线和与之相对应的传导模的电场分布示于图1.15中。这时，N值与横向电场分布的波节数一致，并决定传导模的次数，所以称N值为模（序）号。由图

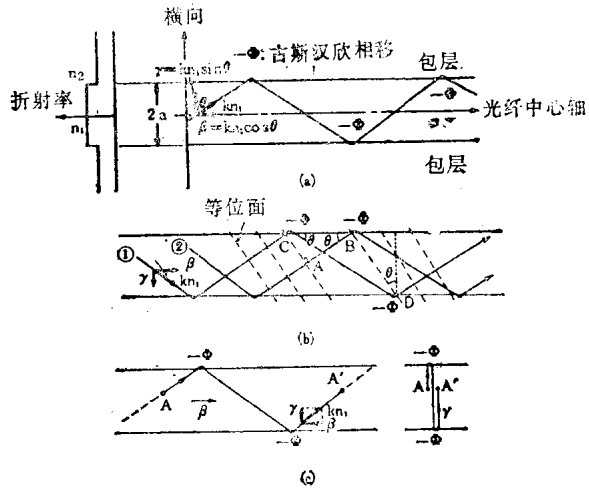
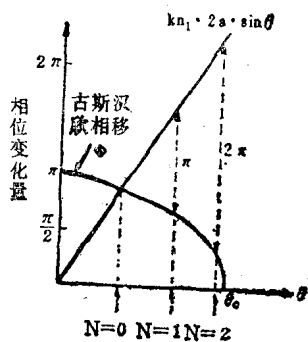


图1.13 光经过全反射进行传播的情况



由(1.7)式可得出以下关系 $kn_1 \cdot 2a \cdot \sin\theta - \phi = N\pi$
 当 $kn_1 \cdot 2a \cdot \sin\theta$ 和 ϕ 相等时, $N=0$
 当 $kn_1 \cdot 2a \cdot \sin\theta$ 和 ϕ 之差为 π 时, $N=1$
 当 $kn_1 \cdot 2a \cdot \sin\theta$ 和 ϕ 之差为 2π 时, $N=2$

图1.14 模序号的确定

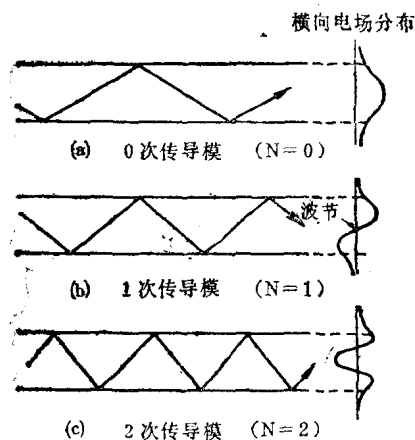


图1.15 传导模的横向电场分布

1.15看出,随着N值的增大,光线的斜率也增大,所以N值大的传导模,其轴向速度(传播速度)慢。

在图1.13中,当 θ 等于 θ_c 时, $\beta = kn_1 \cdot \cos\theta_c = kn_2$ 。当 $\theta > \theta_c$, 即 $\beta = kn_1$ 时,光线在芯与包层的界面上发生折射后射入包层,把这些光线看作辐射模。又,当 $\theta < \theta_c$ 时,即 $kn_2 < \beta$ ($< kn_1$) 时,则存在满足式(1.7)的传导模。

辐射模与传导模在临界状态($\theta = \theta_c$)下,传播常数 β 值为 $\beta = kn_2$,将这个临界点称作截止点。辐射模随 θ 的连续变化($\theta > \theta_c$)而连续变化,但是,必须注意,传导模一方面满足 $\theta < \theta_c$,另一方面即使 θ 连续变化,也只有当 θ 值(离散值)满足式(1.7)时,才有传导模存在。

1.5 光纤通信的特点及应用范围

(1) 特点

如1.2节所述,现阶段所研究的光通信方式只是利用光的强度作为信息传递的手段,与以往传输方式的差别主要有两点,一是要使电信号和光信号能够相互转换;二是要用光纤作传输介质。

在这两点区别中,传输介质——光纤的特点就成为光纤通信的主要优、缺点。

现将光纤通信的优点概述如下。

- ① 与以往电缆相比,能实现低损耗传输。这就有可能将中继距离延长几倍到几十倍。
- ② 光纤具有宽频带传输的特性,可以进行波分复用,此外它的线径细,因此,大大提高了光缆的传输容量。

• 原文为 kn_1 , 这里作了更正。——译者注

- ③ 光纤不受电力电缆、雷电以及其它的电磁干扰，可构成可靠性高的传输线路。
- ④ 光纤传输特性受温度变化的影响极小，所以不需要温度均衡，即使需要，也较简单。
- ⑤ 光纤之间通常不存在相互串话的问题。
- ⑥ 光纤重量轻，比重不到铜的四分之一，能作出可挠性强的光缆。
- ⑦ 光纤的主要原料——石英，是地球上最丰富的资源之一。

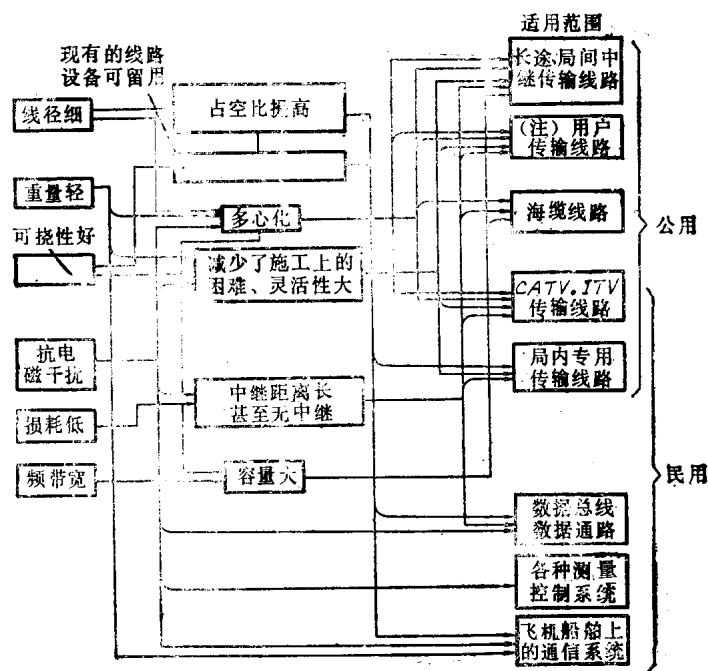
另一方面，在光纤通信中，也存在以下几个特殊问题。

- ① 光纤性质脆，需要适当地涂覆加以保护。此外，为了保证能承受一定的敷设张力，在光缆结构上也需要多加考虑。
- ② 在切断和连接光纤时，需要高精度技术，这在连接电缆时是没有的。
- ③ 对光纤施加侧压之类的外力时，传输特性可能发生变化。
- ④ 在光纤通信系统中，必须有发光和收光器件。这些器件也是以往通信系统中所没有的。
- ⑤ 光纤不能输送中继器所需要的电能。
- ⑥ 为了有效地利用光纤重量轻、线径细、无感应等优点，应采用无金属光缆。这样，在维护、监视和供电方法等方面与以往的电缆不同。
- ⑦ 评价光纤特性的方法和评价电缆特性的方法不同，所以所用的测量技术也不一样。光纤通信虽然存在上述问题，但是只要充分运用其优点，就可得到广泛的应用。

(2) 应用范围

用具有上述优点的光纤所构成的传输方式，其应用范围几乎包括了所有能用铜质电缆的领域，如图1.16所示。

应用范围可分为公用和民用两种，本文介绍公用方面的应用。



(注)：假定传输音频复用信号或各种信息的复用信号。

图1.16 光缆传输的应用范围