

杨同友 杨邦湘 编著

光纤通信技术

电信职工培训丛书
DIAN XIN ZHI GONG
PEI XUN CONG SHU

人民邮电出版社



73.46144

720
:1

0658/07

电信职工培训丛书

光纤通信技术

杨同友 杨邦湘 编著

~~长江通信设备集团~~
武汉通信工程公司 主编

人民邮电出版社

1015492

登记证号(京)143号

内 容 提 要

本书在简要介绍光纤、光电器件的基础上,从实用的角度出发介绍了光纤的测试方法,光缆的施工与维护,光传输设备,光纤通信的支持保证系统等。并列举了一些光纤通信的重点工程。同时还介绍了几种新的光纤通信技术,特别是对光同步数字系列(SDH)技术也做了介绍。

本书可作为从事光纤通信的维护和管理人员的参考书和培训教材,也可供中等专业学校的师生参考。

电信职工培训丛书

光纤通信技术

杨同友 杨邦湘 编著

责任编辑:李树岭 梁凝

人民邮电出版社出版发行

北京朝阳门内南竹杆胡同111号

北京密云春雷印刷厂印刷

新华书店总店科技发行所经销

开本:850×1168 1/32 1995年2月 第一版

印张:14.25 1995年2月 北京第1次印刷

字数:373千字 插页:2 印数:1—6 000册

ISBN 7-115-05490-8/TN·834

定价:15.00元

丛书前言

当今世界通信技术已成为发展最活跃的科技领域之一。今后十年是我国建设社会主义现代化邮电通信网的十分重要的时期。实现邮电通信现代化,一是要依靠科技进步,二是要提高职工素质。现代通信的发展对职工素质和技能的要求越来越高。邮电职工一旦掌握了新的科技知识,其自身的素质和技能就会发生根本性的变化,劳动操作能力必将大大提高。为此,我社组织编写这套“电信职工培训丛书”,陆续出版。

这套丛书紧密结合电信部门的实际,重点介绍近些年来迅速出现、发展起来的新技术、新设备。丛书的特点是结合通信引进、应用、推广和创新的实际,突出实用性,深浅适宜,条理清楚。丛书的主要读者对象是各通信部门的工程技术人员,也可作为相关院校通信专业教学参考用书。

殷切希望广大读者和各有关方面提出宝贵的意见和建议,以便这套丛书日臻完善。



人民邮电出版社

1015492

编者的话

光纤通信在我国发展异常迅速,光纤数字传输已成为我国一、二级长途干线的主要传输手段,“八·五”期间我国建设的 22 条光缆干线,将基本形成国家光缆干线网。光纤通信除了在公用网中顺利发展外,在专用网及其它许多领域中也得到日益广泛的应用。因此普及光纤通信技术,提高通信管理和维护人员的技术水平已是当务之急。为适应这一需要,本书编者结合多年从事光纤通信工程的设计、施工、维护及培训工作的经验,编写了本书。

本书在简要介绍光纤、光电器件的基础上,从实用的角度着重介绍光纤的测试方法,光缆的施工与维护,光传输设备,光纤通信的支持保证系统等,并例举了一些光纤通信的重点工程。同时,还介绍了几种新型的光纤通信系统,特别是对光同步数字系列(SDH)技术也做了介绍。

本书注重实用,是上岗培训以及转岗培训的较好的培训读物。故在编写中注意到了培训班的教学特点,在光纤通信技术的重点、难点等重要章节力图做到深入浅出。

光纤通信技术本身在新工艺、新材料、新技术的影响下,还会不断地发展,为此,欢迎广大读者在应用中,对本书多提出宝贵的意见,以便今后修订,使之更适合广大读者的需求。

编著者

1994 年 7 月

目 录

第 1 章 概论	(1)
1.1 初期的光波通信	(1)
1.1.1 贝尔的光电话	(1)
1.1.2 激光器的诞生和光波大气通信	(2)
1.1.3 光波通信转入地下	(3)
1.2 光纤通信的发展	(4)
1.2.1 国外光纤通信的发展简史	(4)
1.2.2 我国光纤通信的发展概况	(7)
1.2.3 我国光纤通信的应用趋势	(9)
1.3 光纤通信的特点	(11)
1.4 光纤通信系统的基本组成	(15)
1.4.1 光发送部分	(17)
1.4.2 光传输部分	(18)
1.4.3 光接收部分	(19)
1.4.4 监控部分	(20)
1.5 光纤通信示范工程	(21)
第 2 章 通信用光纤和光缆	(26)
2.1 光纤传输的基本原理	(26)
2.1.1 什么是光纤	(26)
2.1.2 光纤的导光原理	(29)
2.1.3 光纤的数值孔径	(30)
2.1.4 光纤的传输模式	(33)
2.2 光纤的种类	(37)
2.2.1 光纤的分类	(37)

2.2.2	多模光纤.....	(39)
2.2.3	单模光纤.....	(41)
2.2.4	色散位移单模光纤.....	(43)
2.3	光纤的特性.....	(44)
2.3.1	光纤的损耗特性.....	(44)
2.3.2	光纤的色散和带宽.....	(50)
2.3.3	光纤的温度特性.....	(56)
2.3.4	光纤的机械特性.....	(58)
2.4	光纤测量技术.....	(59)
2.4.1	光纤的主要参数及测量方法.....	(59)
2.4.2	光纤测量的基本条件.....	(60)
2.4.3	光纤损耗的测量.....	(64)
2.4.4	多模光纤带宽测量.....	(67)
2.4.5	单模光纤的色散测量.....	(70)
2.4.6	单模光纤模场直径的测量.....	(74)
2.4.7	单模光纤截止波长的测量.....	(75)
2.4.8	折射近场法及其应用.....	(78)
2.5	光纤光缆制作技术.....	(79)
2.5.1	材料制备与提纯.....	(79)
2.5.2	制棒.....	(80)
2.5.3	拉丝与涂覆.....	(84)
2.5.4	套塑与成缆.....	(85)
2.6	光缆的施工与维护.....	(87)
2.6.1	敷设前的准备.....	(87)
2.6.2	光缆敷设.....	(88)
2.6.3	光缆接续与保护.....	(91)
2.6.4	光纤接头损耗的现场测量.....	(95)
2.6.5	OTDR在工程中的应用.....	(98)
2.6.6	光缆线路的维护.....	(101)

2.6.7 光缆线路的故障分析及处理	(107)
第3章 光纤通信用器件	(115)
3.1 光电器件的一般工作原理	(115)
3.2 光纤通信用光源	(119)
3.2.1 半导体激光器(LD)	(119)
3.2.2 半导体发光二极管(LED)	(127)
3.2.3 半导体发光器件的简单测试	(133)
3.3 光电检波器	(135)
3.3.1 结构原理	(135)
3.3.2 工作特性和参数	(137)
3.3.3 参数测量	(145)
3.3.4 APD 和 PIN 的使用比较	(149)
3.4 无源器件	(150)
3.4.1 光纤连接器	(150)
3.4.2 光衰减器	(154)
3.4.3 光隔离器	(155)
3.4.4 光开关	(156)
3.4.5 光分路耦合器	(157)
3.4.6 光调制器	(158)
第4章 光传输设备	(159)
4.1 概述	(159)
4.2 光发送机	(160)
4.2.1 光纤通信系统对光源的要求	(160)
4.2.2 直接强度调制	(163)
4.2.3 驱动电路	(166)
4.2.4 辅助电路	(167)
4.3 光接收机	(170)
4.3.1 光接收机的组成	(170)
4.3.2 光纤通信系统对光电检波器的要求	(171)

4.3.3	理想光接收机的灵敏度	(173)
4.3.4	接收电路和噪声	(176)
4.3.5	光接收机灵敏度计算	(179)
4.3.6	光接收机的动态范围	(183)
4.3.7	光接收机的眼图	(185)
4.4	线路码	(186)
4.4.1	光纤数字通信系统对线路码的要求	(186)
4.4.2	常用线路码型	(188)
4.4.3	扰码	(193)
4.4.4	mBnB 码	(197)
4.4.5	插入码	(206)
4.4.6	扰码+mBnB 码+插入码	(214)
4.5	光中继器	(216)
第5章	光纤通信线路的支持保证系统	(221)
5.1	监控系统	(221)
5.1.1	对监控系统的基本要求	(221)
5.1.2	监控系统应具备的功能	(222)
5.1.3	监控系统各单元功能及其相互关系	(225)
5.1.4	监控系统的组成模式	(237)
5.2	保护倒换系统	(245)
5.2.1	保护倒换系统的组成	(245)
5.2.2	一主一备倒换系统	(247)
5.2.3	多主一备自动保护倒换方式	(255)
5.3	公务电话(OW)	(261)
5.3.1	段内公务电话	(262)
5.3.2	跨数字段公务电话	(265)
5.4	N6000 系列的典型应用	(267)
5.4.1	维护终端(MT)	(268)
5.4.2	线路保护倒换系统(L-SW)	(271)

5.4.3	监控系统(SV)	(271)
5.4.4	公务系统(OW)	(277)
第6章	光电设备简介	(279)
6.1	系统组成和特点	(279)
6.1.1	特点	(280)
6.1.2	技术指标和特性	(281)
6.1.3	线路码型	(285)
6.1.4	系统组成	(288)
6.2	主要电路原理	(291)
6.2.1	光线路终端(OLTE)	(291)
6.2.2	光线路中继器(OREP)	(303)
6.2.3	2/8复用(2/8MUX)	(305)
6.2.4	2/8区间盘	(309)
6.3	辅助功能	(312)
6.3.1	监控功能	(312)
6.3.2	倒换功能	(313)
6.3.3	公务电话设备	(318)
6.4	环形数字段	(319)
6.4.1	环形段的组织与特点	(319)
6.4.2	多系统环与多环网	(322)
6.5	N6000型设备简介	(325)
第7章	光纤通信系统工程	(331)
7.1	系统的参考模型	(331)
7.2	系统的性能参数指标	(334)
7.2.1	误码特性	(334)
7.2.2	系统富余度	(337)
7.2.3	系统的光性能指标	(338)
7.3	系统的可靠性	(339)
7.3.1	可靠性的表示方法	(339)

7.3.2	可靠性指标	(342)
7.3.3	可靠性估算	(343)
7.4	系统的中继距离	(347)
7.4.1	损耗限制	(348)
7.4.2	色散限制	(351)
7.5	光纤通信工程举例	(354)
7.5.1	京、汉、广架空光缆工程	(354)
7.5.2	上海——无锡 565Mbit/s 光缆通信工程	(359)
7.5.3	南宁——玉林 34Mbit/s 光缆通信工程	(365)
第8章	光纤通信系统的开通、测试和维护	(368)
8.1	光纤通信系统的开通	(368)
8.1.1	设备加电检查	(368)
8.1.2	单机状态检查	(369)
8.1.3	系统开通调试要点	(369)
8.2	光纤通信系统主要指标测试	(372)
8.2.1	光路指标及测试	(372)
8.2.2	输入电接口指标测试	(379)
8.2.3	输出电接口指标测试	(382)
8.2.4	抖动指标测试	(387)
8.3	光纤通信系统的维护	(392)
8.3.1	维护注意事项	(393)
8.3.2	系统故障的判断	(394)
8.4	故障原因及分析	(395)
第9章	光纤通信的发展趋势	(401)
9.1	同步数字系列(SDH)技术	(401)
9.1.1	同步网的历史背景	(401)
9.1.2	SDH 网的特点	(402)
9.1.3	帧结构	(405)
9.1.4	基本复用原理	(406)

9.1.5 存在问题和发展前景	(408)
9.2 高速光纤通信系统	(409)
9.3 光复用技术	(413)
9.4 相干光通信	(418)
9.5 光放大器	(423)
9.6 光纤用户网	(430)
9.7 光孤子通信	(435)
9.8 超长波长光纤	(437)
9.9 全光通信	(439)

第 1 章 概 论

1.1 初期的光波通信

1.1.1 贝尔的光电话

三千多年前,我国周朝就有利用烽火台的火光传递信息的方法,但那是一种利用普通光的视觉通信。而我们今天所指的光通信与这种视觉通信完全不同,它是利用光波作载波传递信息的通信方式。从这个概念出发,光通信的历史只能从电话发明家贝尔发明的“光电话”算起。

1880 年,贝尔发明了一种利用光波作载波传送话音信息的“光电话”,如图 1.1.1 所示。利用太阳光或弧光灯作光源,光束通过透镜 I 聚焦在话筒的振动镜片上,当人对着话筒说话时,振动镜随着话音振动,从而使反射光的强度随着话音的变化而变化。此时,反射光就被话音所调制,传送到接收端的光波就是已调光波。接收端设有一面抛物面反射镜,把从大气中传送来的已调光波反射到硅片上,硅片将

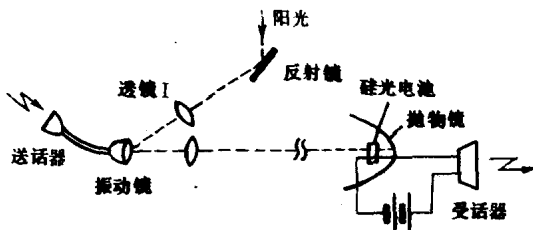


图 1.1.1 贝尔的光电话

光能转变成电流,把电流送到听筒就可以听到发送端讲话的声音。

贝尔的光电话曾受到人们的注意和重视,贝尔本人也很称赞地说:光电话是我一生最伟大的发明。但是,由于当时各种技术条件的限制,这种光电话的传输距离很短,实用意义不大,只能说是光通信的雏型。在光电话问世后一段漫长的时间里,光通信进展很慢,其主要原因是没有理想的光源和传输介质,这就使光通信沉睡了 80 年。但是,光电话的发明确实是很伟大的,它证明了利用光波作载波传递信息的可能性。

1.1.2 激光器的诞生和光波大气通信

1960 年 7 月 8 日,美国科学家梅曼(Maiman)发明了第一个红宝石激光器。激光器发出的激光与普通光相比,谱线很窄,方向性极好,亮度极高,是一种频率和相位都一致的相干光,其特性与无线电波相似,它是一种理想的光载波。因此,激光器的出现使光波通信进入了一个崭新的阶段。

激光是“LASER”的译名,“LASER”是由英文“Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation”中每个单词的第一个字母组成,其意思是“受激发射的光放大”。由于激光与无线电波的性质相似,而频率又比一般的无线电波高得多,我们今天用于光通信的光波频率一般约为 10^{14}Hz ,它比频率为 10^{10}Hz 的微波和频率为 10^{11}Hz 的毫米波高几个数量级,因此,激光的出现,相当于从毫米波向更高频率的发展,它可以极大地增加通信容量,从而引起了通信研究工作者的极大兴趣,使激光很快在通信领域里得到了应用。在红宝石激光器发明后不久,各种不同材料的激光器相继出现,如氦—氖激光器、二氧化碳激光器等。紧接着,美国麻省理工学院利用氦—氖激光器和二氧化碳激光器,模拟无线电通信进行了激光大气传输试验。反复试验的结果表明,在晴朗天气,通信稳定可靠,距离较长,但在不良天气,通信极不稳定甚至中断,不能做到“全天候”通信,这点是一个好的通信系统不能允许的,它反映出这种以大气作为光波传输介质,“靠天

吃饭”的通信方式的致命弱点。

大气光波通信不稳定的因素很多,但主要原因是光波在大气中传输受到大气层中变化无常的气候条件的影响,光波能量损失严重。例如,大气湍流(大气层中,因各处的大气密度不均,温度不同,使传播速度发生变化而造成的旋涡似的流动现象)、雨、雾、雪,大气灰尘和自然辐射对光波能量的吸收和散射,使光波在传输过程中能量迅速衰减,严重影响通信的稳定性和可靠性,天空中的鸟类和各种飞行物都是光波传输路线上的“拦路虎”。

由此可见,光波在大气层中的传输是很不顺利的,光波大气通信不是人们为了追求长距离大容量的一种理想的通信方式。然而,光波通信的许多优越性驱使人们去进一步探索新的传输介质。

1.1.3 光波通信转入地下

为了使光波不受大气层中各种因素的干扰,人们将光波的传输转入了地下,进行了光波地下传输的各种试验,这就是透镜波导和反射镜波导的光波传输系统。

透镜波导是在金属或水泥管道内,每隔一定距离安装一个玻璃透镜,通过透镜的作用将光波限制在管道内传输以达到光波通信的目的。这种传输方式完全可以消除大气对光波传输的各种干扰。反射镜波导的原理与透镜波导相似,不同之处是一个用会聚透镜,一个用反射镜,如图 1.1.2 所示。

从理论上说,这两种波导都是可行的,但是,在人们的大量研究

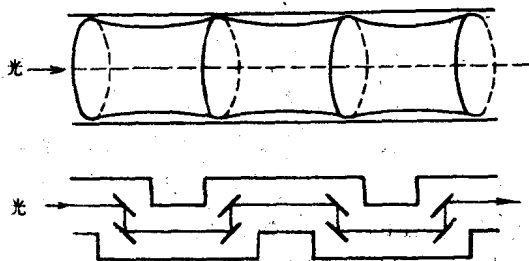


图 1.1.2 透镜波导和反射镜波导

和实践以后发现,在实际应用时,这种传输方式将遇到许多不可克服的困难。例如,现场施工十分复杂,对每个透镜或反射镜要进行严格的校准和牢固的安装;为了防止地面对波导的影响,除了采取必要的措施以外,还要尽可能将波导深埋,或选择人、车稀少的地区;在波导路由转弯时,需要增加透镜或反射镜,弯度越大,增加的透镜或反射镜数也越多,光能的损耗也就越大,自然使系统造价昂贵,并且调整、测试、维修都很困难。由此可见,这种地下的透镜波导和反射镜波导是无实用意义的。

在“天空”和“地下”都不能理想地传输光波的情况下,有人对光波通信产生了悲观情绪,甚至有人主张放弃光波通信的研究。1965年左右,光波通信的研究转入低潮,成了不为人们所重视的“冷门”。

1.2 光纤通信的发展

1.2.1 国外光纤通信的发展简史

“山穷水尽疑无路,柳暗花明又一村”,正在光波通信由于传输介质问题而出现低潮的时候,1933年出生于上海的英籍华人高锟(K. C. Kao)博士,在前人大量研究工作的启发下,通过他自己的大量工作,对光波通信作了大胆的设想,他认为,电可以沿着导电的金属导线远距离传输,光也应能沿着可以导光的玻璃纤维传输。1966年,高锟首次利用无线电波导通信的原理,提出了低损耗的光导纤维(简称光纤)的概念。在当时最好的玻璃,其损耗还处于每公里为1000dB左右(即光波沿着光纤传输1km后,其光能只是原来的 10^{-100})的情况下。他预见到,只要设法消除玻璃中的各种杂质,可使光的吸收减到非常小,生产出一种有实用意义的低损耗光纤是完全可能的。在高锟所提出的理论的指导下,美国康宁公司马勒博士等三人的研究小组,经过大量的研究和试验,终于在1970年8月首次研

制成功损耗为 20dB/km(光波沿光纤传输 1km 后,光能损耗为原来的 1%)的石英光纤。这种光纤直径很小,只有人的头发丝那么细,并且柔软可挠。它的出现,既克服了地下透镜波导或反射镜波导存在的问题,又能防止大气对光波的干扰,是一种理想的传输介质。

就在光纤损耗获得巨大突破的同一年,美国贝尔实验室研制成功室温下连续振荡的半导体激光器。与气体激光器相比,半导体激光器体积小,耗电少,又能直接用电流调制,使用方便,这就为光纤通信技术的发展创造了更为有利的条件。

半导体激光器室温下连续振荡是光源研究的重大突破。在研究初期,曾采用了增加注入电流密度的方法,使电流密度高达每平方厘米数万安培,因而引起器件的严重发热,致使器件损坏。为此,需将它置于很低的温度(-200°C)下工作,或要求器件脉冲式工作,因此,这样的器件对通信来说是无实用意义的。室温下连续振荡半导体激光器初期的寿命很短,有的几小时,甚至几秒钟就损坏了,即使如此,它仍为半导体激光器的发展奠定了基础。1977 年,贝尔实验室研制成功室温下外推寿命为 100 万小时的 GaAlAs 半导体激光器。至此,可以说推进光纤通信实用的两大障碍都得到了满意的解决。此后,各种光纤通信系统犹如雨后春笋般地发展起来。

1974 年,贝尔实验室发明了制造低损耗光纤的方法,称作改进的化学汽相沉积法(MCVD)。光纤损耗下降到 1dB/km;1976 年,日本电话电报公司研制出更低损耗光纤,损耗下降到 0.5dB/km。

在光纤通信系统方面,美国于 1976 年在亚特兰大成功地进行了速率为 44.7Mbit/s 的光纤通信系统试验;日本电报电话公司开始了 64km、32Mbit/s 突变折射率光纤系统的室内试验,并研制成功 1.3 μm 波长的 InGaAsP 半导体激光器。

1977 年,美国开始在芝加哥电话局进行速率为 44.7Mbit/s 光纤通信系统的场地试验;日本电报电话公司发明光纤轴向沉积(VAD)法。

1978 年,日本开始了速率为 32Mbit/s 和 100Mbit/s 渐变折射