

日 島田 禎 著

光通信技术读本

人民邮电出版社

光 通 信 技 术 读 本

〔日〕 島田禎晉 編

島田禎晉 山縣淳 関沢義 执笔
伊藤武 大橋康隆

赵灵基 冯佩珍 李先源 译
龙 赞 易 校

人 民 邮 电 出 版 社

光通信技術読本

島田禎晋 編

オーム社 1980

内 容 简 介

本书是一本供从事光通信实际工作的技术人员和有关院校学生学习用的中等水平入门读物。对光纤通信的设计、施工、测试等主要问题都有实用化的介绍。内容包括：什么是光通信；实际光通信系统；光纤光缆；光半导体元件及光部件；光传输系统的设计；测量技术等。

本书可供从事光通信实际工作的现场技术人员和大专院校有关专业的师生参考。

光 通 信 技 术 读 本

〔日〕 島田禎晋 編

赵灵基 冯佩珍 李先源 译

龙 勃 易 校

人 民 邮 电 出 版 社 出 版

北京东长安街27号

北 京 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 1/32 1982年10月第一版

印张：7 20/32 页数：122 1982年10月北京第一次印刷

字数：173 千字 印数：1—7,000 册

统一书号：15045·总2630-有5263

定价：0.97元

校 者 的 话

以光学纤维充作传输媒质的光通信，作为一项新兴的通信技术，从一开始就显示出无比的优越性，引起人们的极大兴趣和关注，因而在短短的十几年中，获得了迅速的发展。近年来已从研究实验阶段进入实用化阶段，全世界的实用化系统，包括我国的在内，正如雨后春笋，蓬勃兴起，人们对它寄予极大的希望。

本书是一本论述光纤通信的中等水平入门读物，具有以下几点特色：(1) 紧密联系实际，着重从实用化的观点出发，全面介绍光纤通信系统的构成及其在通信网中的应用和有关设计、施工、测试等各方面的主要问题；(2) 简明扼要，层次分明，重点突出，概念清楚，容易理解；(3) 内容较新，反映了本世纪七十年代末乃至八十年代的国际水平。因此，对从事光纤通信实际工作的、以及从事一般电信工作而又需要了解光纤通信技术的工程技术人员、干部、职工来说，是一本很好的自学、参考读物。

原书有个别笔误或排印差错的地方，已由译、校者一一订正。对本书译、校方面存在的缺陷，欢迎批评指正。

龙赞易

1981年10月

原 序

使用光纤作为信息传输线路的光通信，自一九七〇年出现低损耗光纤以来，已达到实用阶段，并渗入到广阔的领域。近三、四年间，在国内外所实施的大规模系统实验和引为民用的系统已超过一百个。光通信技术飞速发展，人们对它寄予着极大的希望。

本书是作为从事光通信实际工作的现场技术人员及作为学生们掌握光通信技术的入门书而编写的。

因此，首先从已有光通信系统的实例出发，达到掌握什么叫光通信这个概念。接着叙述各主要元器件的有关技术，即光缆、光半导体器件、光部件等。其次谈谈系统设计中必要的光中继系统的构成和设计。最后对系统特性加以评价，介绍系统的安装及维护中必要的光测量技术。

一些光纤通信技术发展迅速的国家，特别是日本，居世界首位，已开创了长波长段、单模光纤、波分复用等新技术。但由于新技术情报的获得往往不够及时，所以要以这些新技术内容为中心在本书中加以概括是不容易的。由于作者努力不够，可能有不正确的描述和错误，如果各位读者对本书提出批评，作者是感到幸运的。最后，对编纂本书给予大力帮助的欧姆出版社表示深切感谢。

日本电报电话公司横须贺

电气通信研究所

工学博士 島田 禎 晉

1980 年 4 月

目 录

1. 什么是光通信	1
1.1 光通信的历史	1
1.2 光纤通信的特征	10
参考文献	15
2. 实际光通信系统	17
2.1 光通信系统概述	17
[1] 光通信系统的基本构成	17
[2] 光通信系统的构成要素	19
[3] 调制方式	25
[4] 波长分割复用	27
2.2 和现用有线传输线路的比较	28
[1] 缆的比较	28
[2] 传输方式的比较	30
2.3 光通信系统的具体例子	33
[1] 光通信系统的应用范围	33
[2] 电话局间的传输线路	33
[3] 用户线及局部地区内的视频传输线路	49
[4] 大楼内及单位内部传输线路	56
[5] 电力系统用的信息传输线路	61
[6] 广播中继用的传输线路	66
[7] 用作交通信息传输线路	68
[8] 移动体内的传输线路	69
参考文献	71

3. 光纤光缆	72
3.1 光纤光缆的优点	72
3.2 光纤的特性	74
[1] 光纤的结构和种类	74
[2] 光纤的传输模式和群速度	79
[3] 光纤传输线路的损耗	87
[4] 光纤传输线路的色散	94
3.3 光纤的制造方法	98
[1] 各种光纤原材料的制备方法	99
[2] 光纤的拉丝方法	107
[3] 光纤的涂覆方法	109
3.4 光纤的处理方法	115
[1] 光纤的切断	115
[2] 光纤连接法	116
[3] 光缆的敷设	119
参考文献	121
4. 光半导体元件及光部件	124
4.1 半导体发光元件	124
[1] 特征	124
[2] 半导体激光器	126
[3] 发光二极管(LED)	146
[4] 激光二极管和发光二极管的比较	149
[5] 具有复合机能的发光元件	157
4.2 半导体光接收元件	158
[1] 雪崩光电二极管(APD)	160
[2] 光电二极管(PD)	168
[3] APD 和 PD 的比较	168
4.3 光通路部件	170
[1] 光连接器	172

[2] 光分路、耦合通路·····	175
[3] 光分波、合波通路·····	175
[4] 光衰减器·····	177
[5] 光开关·····	179
[6] 光防反射通路·····	180
参考文献·····	181
5. 光传输系统的设计 ·····	182
5.1 传输系统的基本构成·····	182
[1] 模拟传输中的调制方式·····	184
[2] 数字传输中的码型·····	186
[3] 复用方式·····	187
5.2 光接收系统特性评述·····	189
[1] 信噪比(SNR)的计算·····	190
[2] 误码率的计算·····	193
5.3 光中继系统·····	196
[1] 发送部分·····	197
[2] 接收部分·····	198
[3] 光中继机·····	201
5.4 光数字传输系统的综合评述·····	202
[1] 传输质量恶化的原因·····	202
[2] 中继距离·····	203
[3] 经济性·····	205
参考文献·····	206
6. 测量技术 ·····	207
6.1 光纤和光缆特性测试·····	207
[1] 结构参数的测量·····	207
[2] 传输特性的测量·····	212
6.2 光通信系统用的测量设备·····	218
[1] 通用测试仪器·····	219

[2] 与光缆有关的测试仪器.....	221
[3] 与中继机有关的测试仪器.....	227
参考文献	228
7. 结束语	231

1. 什么是光通信

1.1 光通信的历史

就广义的光通信来说,最早是用烽火台、灯光、镜子等,后来还有用旗语或者照明灯的闪烁来发送信号、传递信息的。不论其中哪一种都是由发信端做某种动作,而在接收端用视觉确认其意义来达到传输信息的目的。

以发明电话(1876年)而著名的亚历山大·格雷厄姆·贝尔在光通信方面也作过贡献。他制作过一种如图 1.1 所示的光电话(photophone)装置,图中(a)表示发送部分,(b)表示接收部分⁽¹⁾。现在先从发送部分介绍起。太阳光或强光源发出的光被第一面镜子(反射镜)反射,通过透镜 1 后聚光到第二面镜子上。人的嘴对准橡胶管前面的送话口,一发出声音,对面的第二面镜子(振动镜)就振动而发生形变,因此,引起光的反射系数发生变化,从而使光受到调制。这种已调制的反射光通过透镜 2 变成平行光束向右边射出。接收端由抛物面形的镜子把光会聚到焦点上。焦点上放有硒管,硒的电阻随光的强弱变化,从而,改变跟电池连接的电路的电流,受话器就再生出声音。

1880 年发明这种光电话,使用日光最远能跟相距 213 米的人通话。贝尔本人也称赞这种光电话,他评价说:在他的发明中,光电话是最伟大的发明⁽²⁾。

后来,用弧光灯代替日光延长了通信距离,但还是只限于

数公里。尽管如此，最终还是被军队采用了。不过总的说来，没有达到普及的程度⁽²⁾。

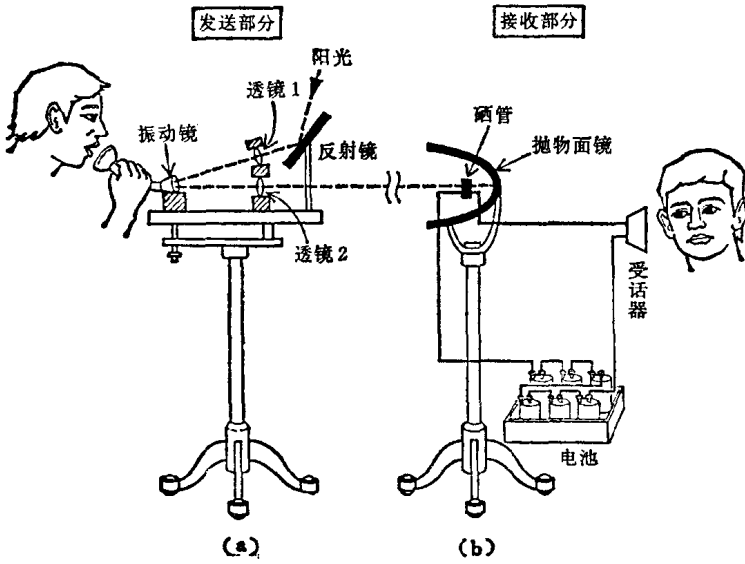


图 1.1 贝尔的光电话实验概况

以后，随着光电管和放大器的出现，促成了采用在发送端对光源——灯泡或弧光灯——的明暗度进行电调制、在接收端用光电管接收光信号后复原成电信号并进行放大的方法。1930~1932年间，日本对这种形式的光通信的研究也很活跃，曾首次在东京市内相距 3.6 公里的日本电气公司和每日新闻社之间进行过实验，获得了通话清晰的结果⁽³⁾⁽⁴⁾。但还有大雾大雨时接收不到信息的记录。

该方法是，在发送端将电信号变换成光信号(光源、发光器件)，使之能以光的形式在线路上传输(那时，传输线路是大

气)，而在接收端再将光变换成电（光检波器*、光接收器件），这是一种跟现在的光传输方式相同的光传输方式的基本形式（图1.2）。

但是，用灯泡作光源时，调制速度是有限的，大概只能载运一路或稍多一点儿的音频信号。另外，传输距离也因光束发

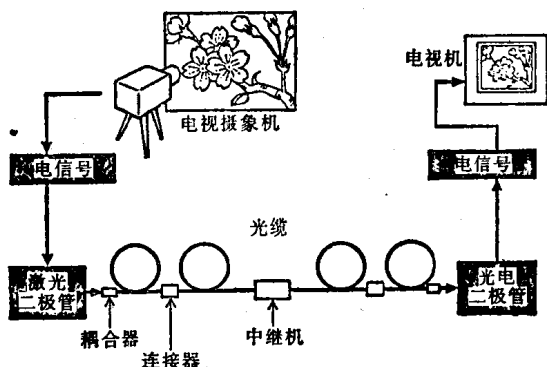


图 1.2 通过光纤传输图象

散，就是在能见度好的天气下也是有限的。何况一旦遇有雨、雾、烟等情况，光就会受它们的散射或吸收而遭受衰减。图 1.3 即表示从微波到可见光这一波段内电磁波衰减的情况。衰减常

* “光检波器”，有时也叫“光电检波器”，或简称“检波器”，对应的英文名词为“optical detector”，“photodetector”，“detector”。我国现在流行将这种检波器译成“探测器”或“检测器”。我们考虑到在光通信系统中所用的检波器，也就是起“解调”的作用，即从已调制的光波中，通过光—电变换，将光的变化转变成电的变化，从而检出原调制电信号来，故只能从“解调”、“检波”的角度来进行解释，并无“探”或“测”的含义。实际上在许多外文书刊中也都是这样来定义的。同时还有鉴于日文书刊中对光通信系统中的检波器一词，也是引用的汉语“检波器”，和以往的各种电信系统或无线电技术中的用词完全一致。因此，我们在本书中，采用“检波器”的译名。

——校者

数是一个用 dB (分贝) 为单位来表示每公里衰减程度的参量，0 dB 表示没有衰减，10 dB 表示光功率衰减到十分之一，20 dB 表示衰减到百分之一。

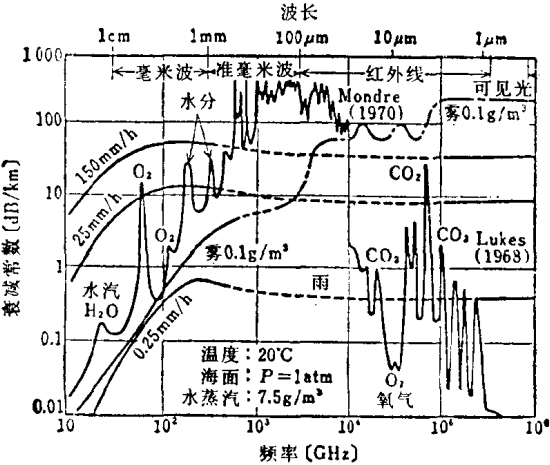


图 1.3 大气传输中气体和降雨产生的衰减

正因为如此，光的大气传输方式除特殊用途以外，要投入一般使用就很困难。可是，到 1960 年发明激光器之后。情况就出现了变化。由于激光器跟灯泡不同，能发出不论在时间上还是在空间上相位都一致的光，因而光束发散的情况得到显著改善。另外，关于调制速度方面也可望达到超高速的程度，于是光传输方式又活跃起来了。

由于出现了这种激光器，使光源问题有了新的突破。但是，靠大气传输，因雨、雾等产生的衰减还是不可避免。

譬如，从 1970 年 3 月起在东京都内对光衰减量进行了三年测量，获得如图 1.4 所示的结果。图中的黑点表示光衰减量的累积概率。虽然是在 0.63 微米和 0.85 微米两个波段分别进

行实验的，但数据却几乎没有差别。实线是根据能见度推算出来的数值作出的。所谓能见度，是能看到远方黑色物体的最大距离，不用说它会随气候变化，还有人为误差。图 1.4 是用能见度 V [公里] 和常数 $K=20$ 计算光的衰减常数 α [分贝/公里]的， $\alpha=K/V$ 。

根据上图，衰减常数达到 30 分贝/公里以上这样大的值的时间竟达 1%。换算成一年，

1% 大约是 80* 小时，所以作为一种通信方式，这一数字是不能令人满意的。如果是这种程度的衰减量，则在使用普通装置时发送——接收间的距离（称为中继距离）是 1~2 公里。如果再严格一个数量级，规定通信中断时间不得超过 0.1%，则中继距离只能勉强达到 500 米左右。

于是，人们不得不积极从事传输线路的研究。其间，研究过介质薄膜波导，射束波导（透镜列、反射镜列、气体透镜列）等各种传输线路，但是，无论哪一种要达到实用化的程度都很困难。

就在这时候，传来了美国康宁玻璃公司成功地制作出损耗为 20 分贝/公里的石英光纤⁽⁵⁾的消息。这暗示了中继距离达到公里级的传输是可能的，这是一个划时代的进展。

同年，贝尔研究所的半导体激光器在室温下连续振荡获得成功，从而使光纤传输方式的研究一跃而受到重视。半导体激光器比固体激光器和气体激光器的体积小，振荡效率也高，用

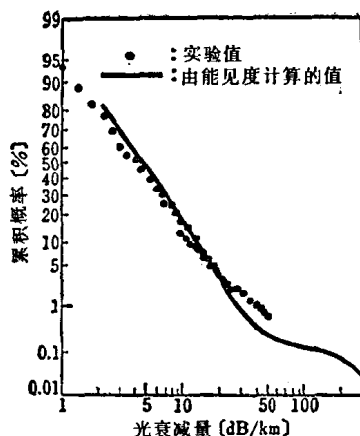


图 1.4 光衰减量的累积分布

* 原文为 8 小时——译者

于通信时使用方便、合乎实用。

1970年,是值得纪念的光纤传输元年,回顾一下往事,到1970年为止,已进行了许多打基础的研究工作。1962年,美国的GE①、IBM②、MIT③的半导体激光器(GaAs)于同一时期在脉冲振荡方面获得成功;1966年,英国的Kao④和Hockham揭示了实现低损耗光纤的可能性⁽⁶⁾(原文误为(6)——译者)。在日本,东北大学的西泽教授等人也提出了渐变型光纤的方案(1964年申请专利,1968年发表理论分析文章⁽⁷⁾)。又在1969年,日本电气公司和日本板玻璃公司发表了试制成功渐变型光纤的消息(商品名称叫SELFOC)⁽⁸⁾,据说,1970年这种

光纤的损耗已降低到100分贝/公里。此外,研制跟显示灯和浮标灯同类型的发光二极管(1955年)、用作光接收元件的光电二极管(1966年)的工作成果对促进光通信的发展也起了重要的作用。现将上述研究情况整理成表1.1所示的年表。

1970年以后,光纤传输技术的研究获得了惊人的发展。光纤的最低损耗在1972年下降到7分贝/公里(康宁公司),1973年下降到2.5分

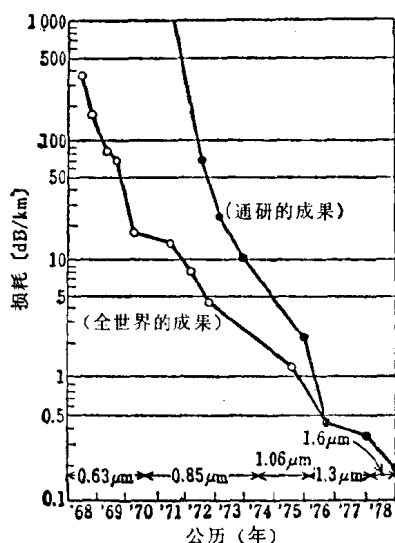


图 1.5 降低光纤损耗的进展情况

- ① 通用电气公司
- ② 国际商业机械公司
- ③ 麻省理工学院
- ④ 指英籍华人高锟 (K.C.Kao) 博士——译者

表 1.1 光传输方式研究年表

年 份	光 源	光 纤	日本电报电话公司研究系统的情况
(1960)	红宝石激光器振荡(休斯)	1951 年发明医用光纤	
(1961)	He-Ne 激光器振荡(贝尔研究所)		
(1962)	GaAs(半导体)激光器振荡 (GE, IBM, MIT)		
(1964)		提出渐变型光纤(东北大学)	
(1965)	CO ₂ 激光器振荡(贝尔研究所)		
(1966)		指出玻璃纤维用作传输线路的可能性(STL)*1(~1000 dB/km)	研制(射束波导方式, 大气传输方式)
(1967)			
(1968)			
(1969)		制作渐变型光纤(日本板玻璃公司) (~200 dB/km)	
(1970)	GaAlAs 激光器连续振荡(贝尔研究所、苏联、日本电气公司)	制作低损耗光纤(康宁公司) (20 dB/km)	

续表

年份	光源	光纤	日本电报电话公司研究系统的情况
(1971)			(光纤传输方式)
(1972)	GaAlAsSb 激光器振荡 (电报电话公司)		
(1973)		发明低损耗光纤制作法(MCVD)* ² (贝尔研究所)(1 dB/km)	
(1974)			
(1975)			
(1976)	GaInAsP 激光器连续振荡 (MIT、KDD* ³ 、东北工业大学、电报电话公司)	制作超低损耗光纤(电报电话公司、藤仓电线)(阶跃型 0.5 dB/km, 1.2 μm)	研究所内做传输实验(32 Mb/s, 阶跃型光纤)
(1977)	GaAlAs 激光器的推測寿命 100 万小时(贝尔研究所、电报电话公司)	发明制作光纤的新方法(VAD法)* ⁴ (电报电话公司)	
(1978)			现场实验(32 Mb/s, 100 Mb/s, 渐变型光纤, 0.85 μm) 53 公里无中继传输实验 (32 Mb/s) 渐变型光纤 1.3 μm)
(1979)	GaInAsP 激光器 1.5 μm 波段获得室温连续振荡 (KDD, 电报电话公司)	制作出超低损耗光纤 (电报电话公司) (单模光纤 0.2 dB/km, 1.55 μm)	40 公里无中继传输实验 (800 Mb/s, 单模光纤, 1.3 μm)

*¹ 英国标准电信实验室*³ 国际电报电话公司*² 改进的化学气相沉积法*⁴ 汽相轴向沉积法——译者