

光纤数字通信系统及测试

李学林 温建华 编著
高大刚 赵占好

中国铁道出版社

光纤数字通信系统及测试

李学林 温建华
高大刚 赵占好 编著

中国铁道出版社

1999年·北京

(京)新登字 063 号

内 容 简 介

为了适应现代电气化铁路光纤数字通信工程建设和维护的需要,本书系统地介绍了电气化铁路光纤数字通信系统的组成、质量指标及测试。主要内容包括光纤的传输特性,光纤数字通信系统及特性指标要求;系统测试,光缆线路测试,光、电接口测试,音频通路测试等。

本书可供设计、施工、维护等从事光纤通信的技术人员使用,也可供教学、科研人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

光纤数字通信系统及测试 / 李学林等编著. —北京: 中国铁道出版社, 1998. 7
ISBN 7-113-02873-X

I. 光… II. 李… III. ①铁路通信-数字通信系统-测试
②铁路通信-光导纤维通信系统-测试 IV. 0285

中国版本图书馆 CIP 数据核字(98)第 20551 号

书 名: 光纤数字通信系统及测试

著作责任者: 李学林 温建华 高大刚 赵占好 编著

出版·发行: 中国铁道出版社(100054,北京市宣武区右安门西街8号)

责任编辑: 黄成士

封面设计: 李艳阳

印 刷: 北京市燕山印刷厂

开 本: 787×1092 1/32 印张:8.875 字数:201 千

版 本: 1998 年 7 月第 1 版 1999 年 6 月第 2 次印刷

印 数: 2001—3000 册

书 号: ISBN7-113-02873-X/TP·286

定 价: 15.40 元

版权所有 盗印必究

凡购买铁道版的图书,如有缺页、倒页、脱页者,请与本社发行部调换。

前 言

光纤通信以其通信容量大、中继距离长、抗电磁干扰能力强和有利于传送动态图像等独特的优越性已成为当今世界通信技术的发展方向,现在已经实用化。绝大部分传统的电气模拟通信将由光纤数字通信所取代。由于光纤数字通信具有许多优点和巨大的生命力,所以发展很快,推广应用迅速。现仍在以惊人的速度向超高速、大容量、低损耗、超长中继距离、高密度频分复用的高级阶段发展。

随着社会经济的发展,人类智力活动范围的不断扩大以及微电子技术、计算机应用技术和光纤数字通信技术的发展与结合,人类社会将进入一个新的历史时代——信息化时代。人们将信息通过信息网及用户终端设备进行信息处理,互相渗透,互相促进,将推动着社会信息产业的飞速发展。

铁路运输是国民经济发展的主动脉,铁路电气化和光纤数字通信技术的推广应用,可利用信息技术来扩大和提高铁路运输的能力,推动铁路运输向新的技术方面发展,实现铁路运输生产和管理的自动化和现代化。

本书是为适应现代电气化铁路光纤数字通信的发展和工程建设及维护的需要编写的,重点介绍光纤的传输特性、传输系统的构成、系统和接口测试,并对系统的质量指标和 ITU-T 关于数字系统的有关建议也作了介绍。它对电气化铁路区段光纤数字通信系统的开通、测试、使用和维护,提高光纤通信的可靠性,提高光纤通信系统设计、施工、维护人员的理论

和实际操作水平都将起到重要的作用。

本书由铁道部电气化工程局李学林主编并编写了第一章和第二章。温建华编写第三章,高大刚编写第四章和第五章。赵占好编写第六、七、八、九章。

限于水平,书中内容不妥之处,敬请读者批评指正。

作 者

目 录

第一章 光纤通信绪论	1
1.1 光纤通信的发展及优点	1
1.2 光纤通信的类型	5
1.3 光纤数字通信系统的组成	9
1.4 光纤数字通信的复用方式.....	15
1.5 光纤通信的发展方向和新技术.....	21
第二章 光纤数字通信系统的质量指标及接口建议	28
2.1 假设数字参考连接.....	28
2.2 误码特性.....	31
2.3 抖动特性.....	42
2.4 漂移特性.....	54
2.5 可靠性	56
2.6 ITU-T 关于数字系统的光电接口建议	61
第三章 光纤的传输特性	82
3.1 光纤的衰减特性.....	82
3.2 光纤的数值孔径.....	87
3.3 光纤的色散和带宽.....	92
3.4 光纤的传输模式.....	98
3.5 单模光纤的截止波长和模场直径	101
3.6 光纤的机械和温度特性	105
3.7 ITU-T 关于光纤数字线路系统的建议	112
第四章 长途光缆数字通信传输系统	124

4.1	光缆数字线路系统	124
4.2	长途光缆数字传输系统的构成	139
4.3	传输系统的质量指标	143
4.4	光系统中继长度设计	149
4.5	线路码型	151
4.6	光端机和光再生中继器	157
4.7	PCM 数字复用设备	165
4.8	SDH 设备	172
4.9	监控系统	176
4.10	数字光通信设备的静电防护	179
第五章	区段光缆数字通信传输系统	182
5.1	区段通信的分类	182
5.2	区段通信的网络结构	183
5.3	利用 D/I 设备组网的方式及特点	187
5.4	铁路基层数据通信网	190
第六章	光缆线路测试	195
6.1	光缆测试	195
6.2	光纤接续损耗测试	196
6.3	光中继段测试	198
6.4	光缆故障测试	200
第七章	光、电接口及 SDH 网元测试	202
7.1	PDH 光接口测试	202
7.2	PDH 电接口测试	208
7.3	SDH 光接口测试	212
7.4	SDH 网元测试	217
第八章	系统测试	233
8.1	PDH 系统测试	233

8.2	SDH 系统测试	240
第九章	音频通路特性测试	248
9.1	通路电平测试	248
9.2	衰减频率特性测试	249
9.3	增益随输入电平变化测试	252
9.4	空闲信道噪声测试	253
9.5	总失真测试	254
9.6	路际串话测试	258
9.7	共线稳定度测试	262
附录一	国产有关设备的可靠性指标	265
附录二	国产半导体光源的典型参数	266
附录三	几种国产光纤活动连接器的主要技术指标	267
附录四	几种光放大器的性能特点	268
附录五	常用检测管的性能	268
	参考文献	272

第一章 光纤通信绪论

随着社会科学技术的不断发展,人类社会步入了新的历史时代,即信息化时代。以微电子、光电子、计算机、光纤通信和信息服务业构成的信息产业促使通信技术日新月异、飞速发展,通信新业务应运而生,层出不穷。光纤数字传输体制(光准同步数字系列(PDH)和光同步数字系列(SDH))作为把大容量、高速传输的光纤传输技术与智能化网络单元技术有机地结合在一起的全新的传输网络技术,正向着数字化、综合化、自动化、智能化、宽带化、个人化方向发展。可以说这种新兴技术,是世界新技术革命的重要标志,又是未来信息社会中各种信息网的主要传输工具。

1.1 光纤通信的发展及优点

1.1.1 光纤通信的发展

光纤通信是七十年代发展起来的一种新型通信方式。

所谓光纤通信,就是将要传的电报、电话、图像和数据信号先变成光信号,经由光纤进行传输或者在本地进行光交换。

光,实质上也是电磁波,其波长在微米级、频率为 10^{14}Hz 数量级。由图 1—1 电磁波谱中可以看出,紫外线、可见光、红外线均属于光波的范畴。目前光纤通信使用的波长范围是在近红外区内,即波长为 $0.8 \sim 1.8\mu\text{m}$ 。可分为短波长波段和长波长波段,短波长段是指波长为 $0.85\mu\text{m}$,长波长段是指 $1.31\mu\text{m}$ 和 $1.55\mu\text{m}$,这是目前所采用的三个通信窗口。将来还

要逐步发展到中红外和远红外区。

在1961年到1970年间研究的光通信,大多利用大气进行传输。实践证实,经大气传输的光通信,气候对通信的影响十分严重,气候变化能引起传输光束的抖动,使通信质量恶化。尤其在大雾和雨雪天气,通信几乎中断,难以实现“全天候”通信。这些,都使得大气光传输受到极大的限制。

1960年美国人Maiman发明的红宝石激光器,为后来的光纤通信起了推动作用。尤其是1962年,半导体激光器的出现,成为光纤通信发展道路上的一块里程碑。这种器件体积小,效率高,调制方便,十分适用于光纤通信。

1966年,英籍华人高锟(C. K. Kao)博士提出用石英玻璃制做光纤的光波导理论。他论证了当时石英光纤的损耗机理,是基于石英材料中的杂质吸收。按照他的理论,1970年美国康宁公司,经提纯研制出损耗为20dB/km的光纤。之后,世界各国纷纷开展光纤通信的研究,在1974年,光纤损耗降低到2dB/km。另外,石英玻璃内的OH离子对损耗也有严重影响,在1976年,降低OH含量出现低损耗的长波长窗口1.2μm,

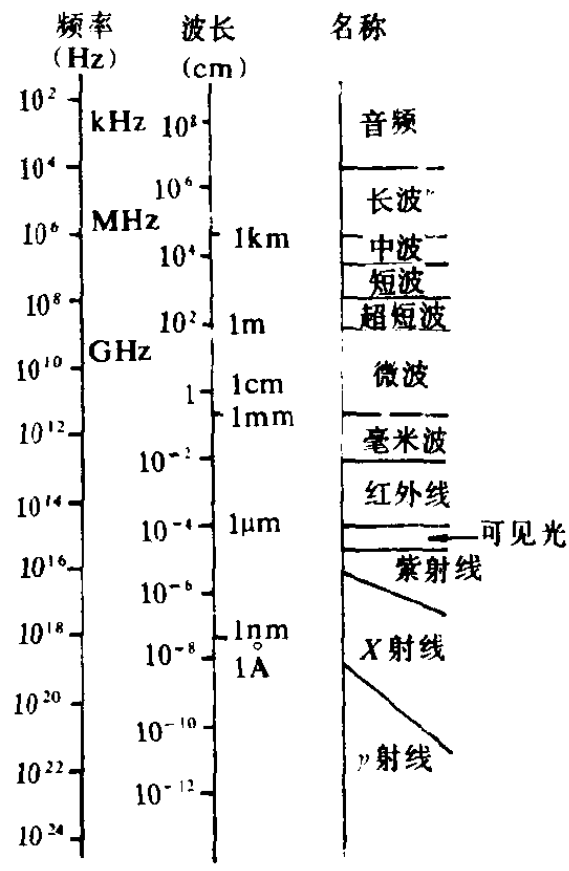


图 1—1 电磁波谱

1.31 μm , 1.55 μm 。1980年,在1.31 μm 窗口处的光纤损耗达1dB/km以下,在1.55 μm 窗口处的光纤损耗达0.2dB/km,甚至可达0.15dB/km。

1976年后,各种实用的光纤通信系统陆续出现,英国首先建立起光纤图像传输系统,用以传输电视。1977年美国在亚特兰大,日本在东生驹先后建立起数字光纤通信系统现场试验,用以传送电报、电话、图像及数据信号。自此以后,世界上相继建成数千个光纤通信系统,从现场试验走向全面实用化阶段。

近年来,各种光波分复用技术、相干光通信、集成光学和光放大器的研究有较快的进展,超低损耗的光纤材料也在探索,新一代光纤通信技术将要来临,前景宽广,那时的光纤通信将普及到各个用户。

1.1.2 光纤通信的优点

传输技术的选择是由传输频带和传输容量、高可靠性、经济性能及可发展的潜力共同决定的。在电信网络中之所以采用光纤是因为它比现有的铜线传输和无线传输有着更好的特性,这些特性包括:传输频带宽、通信容量大、中继距离长,可靠性高、安全性好、体积小重量轻、经济效益好,以及无限的发展潜力。

1. 传输频带宽、通信容量大:光纤能传送每秒吉(10^9)比特以上速率的数据,以10Gb/s的速率传送数据已进入实用化阶段。光纤的通信容量如此之大使得信息业务的带宽使用更为充裕,从而能够完成传送话音、高速数据、视频和高清晰电视(HDTV)等新业务,而且为以后更新的业务提供了足够的带宽。

2. 中继距离长:由于目前制成的 SiO_2 石英玻璃介质的纯

净度极高,所以光纤的损耗极低。在 $1.55\mu\text{m}$ 窗口处的光纤损耗接近理论极限值。现在实用的光纤传输系统的中继距离可达 100km 以上,比电缆传输系统的中继距离大数倍至几十倍。光放大技术的出现,即掺铒光纤在泵浦光源的激发下能进行光信号放大,这样使中继距离变得更长。日本 NTT 公司在 1994 年研制出了 160km 中继距离的光纤传输系统,现在已有 200km 以上中继距离的光纤传输系统出现。

3. 抗电磁干扰、可靠性高:光纤的高可靠性表现在以下两个方面:

(1) 光纤传输系统的误码率(BER) 低于 10^{-11} 。

(2) 光纤这种传输介质不受电磁干扰,可与交流电气化铁路和高压输电线路平行敷设,而通信不受其干扰。这有利于传送动态图像,有利于在工厂内部的自动控制和监视系统应用,有利于在多雷地区和飞机上应用,有利于在保密性强的军政单位使用。

4. 安全性好:光纤传输系统既不外泄能量也不感应外部能量。这个特点使光纤信号不会被转接,信号功率能清晰地监视,因此在保密性强的单位的通信领域内尤为有用。

5. 体积小重量轻:相同容量话路光缆,要比电缆轻 $80\% \sim 90\%$ 左右,直径不到电缆的 $1/5$,故运输和敷设都比铜线电缆方便,并有利于在机车上作信号控制用和航海通信系统中应用。

6. 经济效益好:因为传输相同容量的业务时需要的光纤数量要少得多,节省有色金属和能源;较长的中继距离省去了大量的中继设备,且维修费用也比电缆低得多,所以使用光缆传输具有较好的经济效益。宽带综合业务数字网(B-ISDN)和光纤到户就是即将实现的光纤部署计划。

7. 无限的发展潜力: 光纤带宽容量几乎不受限制, 因此限制速率的不是光纤而是连接光纤的光电终端设备。

1.2 光纤通信的类型

光纤通信系统是以光波为载波, 光纤为传输介质的通信系统。它主要由发送机、光传输和接收机三部分组成。光纤通信系统可以根据所采用的传输信号形式、传输光的波长和光纤类型、光接收和发送方式进行不同的分类。

1.2.1 按传输信号分类

按传输信号可以分为模拟光纤系统和数字光纤系统两类。

1. 模拟光纤通信系统

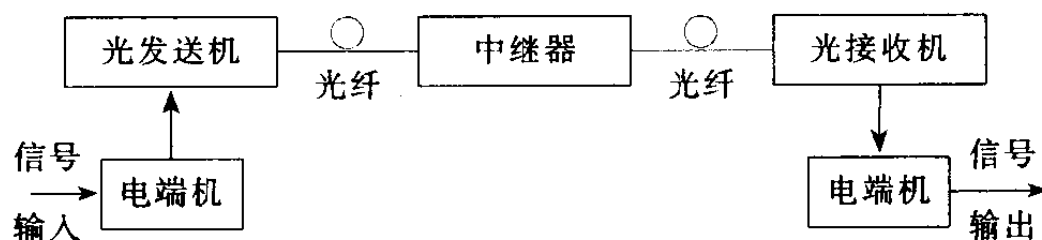


图1—2 光纤通信系统的基本构成

图 1—2 所示的光纤通信系统, 若输入电信号不采用脉冲编码调制(PCM) 信号的通信系统即为模拟光纤通信系统。这种系统最主要的优点是不需要数字系统中的模—数和数—模转换, 故比较经济。

模拟光纤通信系统的缺点是, 由于光电变换时产生较大的噪声, 在长距离传输时, 采用中间再生中继器将使噪声积累, 故只能应用在短距离传输线路上。如果希望在较长距离上传输, 则要先采取脉冲频率调制(PFM), 然后再送到光发送机进行光强调制。由于采用PFM调制后, 改善了传输信噪比,

故中继距离可达 20km 以上,而且可以加装中间再生中继器。

2. 数字光纤通信系统

图 1—2 中的电信号输入采用 PCM 信号的通信系统为数字光纤通信系统。这种系统的优点是,使用再生技术时噪声积累少,易于集成以减少设备的体积和功耗,转接交换方便,利于与计算机结合,且抗干扰性强。

数字光纤通信系统的缺点是,所占的频带宽,但光纤的带宽比金属传输线要宽许多,故弥补了数字通信所占频带宽的缺点。光纤通信在接收和发送时,在光电变换过程中所产生的散粒效应噪声和非线性失真较大。但若采用数字通信,中继器采用判决再生技术或光放大技术,则噪声积累少或减少了噪声,所以,光纤通信采用数字传输成了最好的通信方式,便于实现传输网的数字化(IDN)。所以,本书专门介绍单模光纤数字通信系统。

1.2.2 按波长和光纤类型分类

根据光纤技术的发展过程,光源和光电检测器的相应发展,以及高速率低功耗的集成电路的不断研制成功,光纤通信按波长及光纤类型可分为四类。

1. 短波长($0.85\mu\text{m}$) 多模光纤系统

通信速率一般为 34Mb/s 以下;中继距离为 10km 以内;发送机光源为 GaAlAs 半导体激光器或发光二极管。接收机的光电检测器为 Si-PIN 光电二极管或 Si-APD 雪崩管。

2. 长波长($1.3\mu\text{m}$) 多模光纤系统

通信速率一般为 34Mb/s $\sim$ 140Mb/s,1983 年以前英国和美国所建长途干线大多属于这一类。中继距离为 25km 左右。所用光源为 InGaAsP 半导体多模激光器或发光二极管。光电检测器为 Ge-APD 或 InGaAs-PIN 二极管和

InGaAs-APD。

3. 长波长($1.3\mu\text{m}$) 单模光纤系统

通信速率一般为 $140\text{Mb/s} \sim 565\text{Mb/s}$ 或 $155\text{Mb/s} \sim 622\text{Mb/s}$, 自 1983 年起美日英等国兴建的长途干线均属于这两种类型。我国交流电气化铁路区段, 大秦线、郑武线、京郑线和宝中线等长途干线采用的是 140Mb/s 。京九线和兰新线长途干线采用的是 155Mb/s 和 622Mb/s 。中继距离为 $40 \sim 50\text{km}$ 。光源为 InGaAsP 单横模激光器。光电检测器为 Ge-APD 或 InGaAs-PIN 二极管和 InGaAs-APD。

4. 长波长($1.55\mu\text{m}$) 单模光纤系统

通信速率一般为 565Mb/s 或 $622\text{Mb/s} \sim 2.5\text{Gb/s}$ 。由于调制速率高会产生模分配噪声限制大容量长中继距离的传输, 因此要采用零色散位移光纤和动态单纵模激光器。由于 SDH 技术的发展和应用速率惊人, 自 1992 年底日本等国的 622Mb/s 系统投入使用后, 不到两年, 2.5Gb/s 系统设备于 1994 年进入市场。而到 1995 年 10 月, 加拿大北方电讯公司等就将 10Gb/s 的系统投入了实用。SDH 系统的速率、容量不断提高, 应归功于一些新的光纤技术如光放大、波分复用等的逐步成熟与应用。

北方电讯公司是掺铒光纤放大器技术的先驱, 它于 1985 年提出掺铒光纤放大器计划, 并于 1990 年成功开发研制出掺铒光纤放大器, 1992 年用于北方电讯的海缆系统。

1.2.3 其他通信类型

1. 波分复用系统

在一根光纤中同时传输两个或多个不同波长的光载波信号的光纤通信称为波分复用系统。在长距离光缆通信中, 波分复用有很大很好的经济性。因为线路的投资很大, 占总投资的

75% 左右,采用波分复用,相当于成倍地增加光纤线路的传输容量,目前已有几个国家应用这种技术。

实现波分复用(WDM)的关键器件是分波器和合波器(复用/解复用器)。对分波器和合波器的主要要求是插入损耗小、串光小或波长间隔小。常用的分波、合波器有棱镜型、光栅型、电介质多层干涉滤光片型等。

波分复用系统的优点是:

- (1) 单根光纤就可传输几个至几十个以上的波长信号。
- (2) 扩容方便。局端只增加单信道终端设备,另加分波器、合波器即可。
- (3) 复用信号的形式灵活,可为数字信号,也可为模拟信号。

采用波分复用后,还可以在 network 中实现按光路的波道分支出一个完整的传输系统。同时也适用于各种形式的网络拓扑,如点对点、环形、网络形、星形或链形。

2. 相干光纤通信系统

相干光纤通信系统又称为外差光纤通信系统。该通信系统主要由光发射机、光纤传输和光接收机三部分组成。

(1) 光发射机由光波载频振荡器、光调制器和光匹配器组成。光载频振荡器就是一个频谱很纯的高稳定度的激光器,它的作用就是产生一个单一频率的光载频信号。所需传输的多路电信号通过调制器“载”在这个光载波上。

(2) 光纤通信系统中的光放大器,可以放在光信号传输途中,相当于光中继器;也可以放在光发射机调制器之后,以提高输出光功率。

(3) 光接收机由光匹配器、光混频器、光本机振荡器等组成。光本机振荡器与光发射机中的光载频振荡器一样,是一个

频谱很纯、稳定度很高的激光器。

相干光通信是相干性好的光载波,通过电信号调制经光纤送到接收端,接收的光波信号与接收机的本机振荡光波在满足偏振匹配的条件下混频,所产生的中频电流大小与光载波的强度、相位、频率和偏振状态有关。因而可以实现幅移键控调制(ASK)、频移键控调制(FSK)、相移键控调制(PSK)下的外差检波或零差检波。这种系统的主要优点是:

(1) 光接收机灵敏度可以提高约 $10 \sim 25\text{dB}$ (与强度调制——直接检波方式比较),如果光纤的损耗为 0.2dB/km ,灵敏度可提高 20dB ,相当于中继距离可延长 100km 。

(2) 可进行高密度波分复用。

(3) 通信速率受啁啾声等因素的影响小,其速率可达 Gb/s 。以上优点是吸引人的,然而要实现相干光通信,尚有一定的技术难关要解决:

要采用具有稳定偏振特性的单模光纤。

发端和收端的激光器的谱线要求很窄,光频要高度稳定,具有动态单纵模,即良好的相干光,而且噪声要小。

1.3 光纤数字通信系统的组成

图 1—2 表示一个传输方向的简单的光纤数字通信系统图。其中,电端机的作用是对来自信息源的信号进行处理,例如模数变换(E/O 变换)、多路复用等处理。发送机内有光源,如激光器,把电信号变换成光信号,经光纤传送至对方的光接收机。光接收机的接收端内有光检测器,如光电二极管,把来自光纤的光信号还原成电信号,经放大、整形、再生恢复原形后,输入到电端机的接收端。它们可以工作在不同的波长范围,目前的趋势是向长波长($1.55\mu\text{m}$) 同步数字系列(SDH)