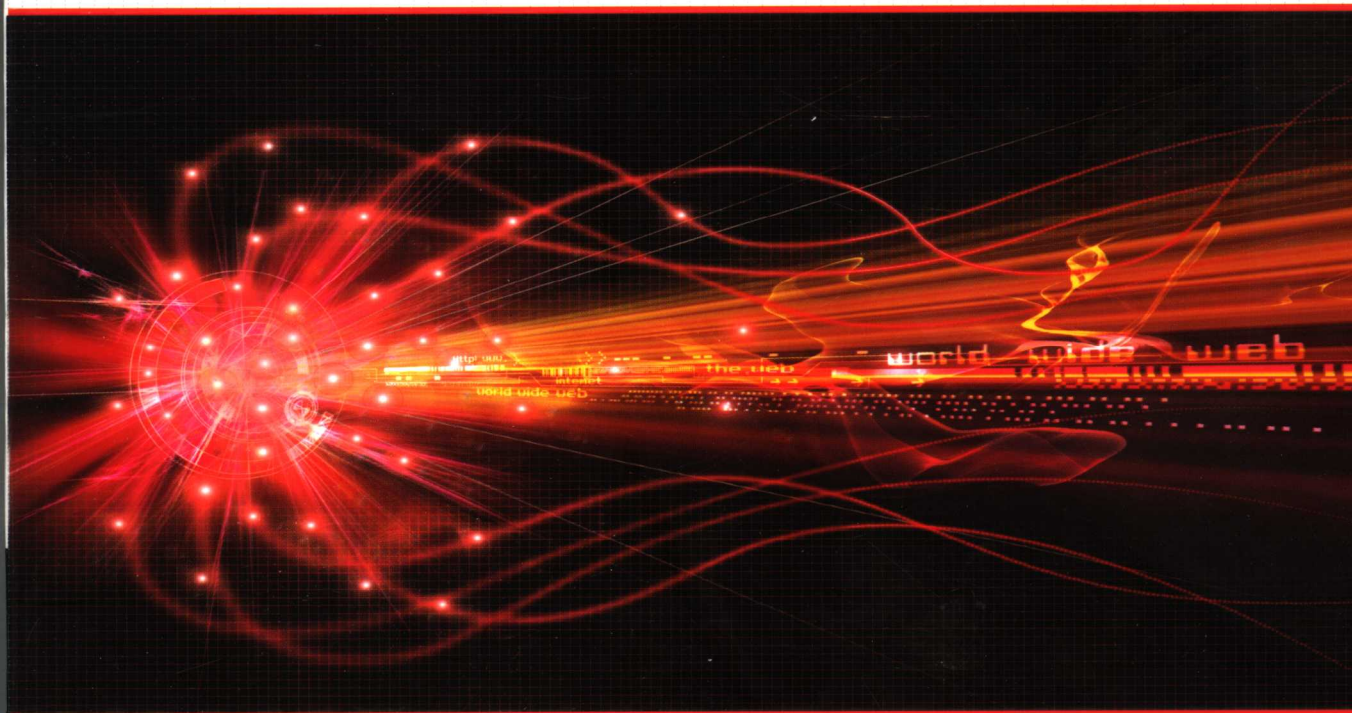


TONGXIN GUANDAO YU XIANLU GONGCHENG SHEJI

# 通信管道与 线路工程设计

刘强 童有卯 罗永健 简玉仙 等编著



国防工业出版社

National Defense Industry Press

# 通信管道与线路工程设计

刘强 童有卯 罗永健 简玉仙 等编著

国防工业出版社

·北京·

## 内 容 简 介

本书比较系统、完整地介绍了通信有线传输系统工程设计领域——管道与线路部分——有关的基础知识和实现完整工程设计的技術方法。

全书由 12 章组成。第 1、2 章为基础总论部分,介绍了通信光电缆构成、适应场合及工程设计的基本方法;第 3~12 章为通信管道、线路工程设计部分,分别介绍了通信管道建筑、直埋、架空、用户电缆、智能建筑综合布线等线缆敷设的工程设计基础知识和实际设计的完整实例。

本书叙述由浅入深,循序渐进;内容系统、全面,概念清晰;同时具有大量可直接应用于工程施工的工程设计实例,实用性强。可作为通信服务领域中通信规划、设计、施工和维护人员参考使用,也可作为大专院校通信工程、信息工程和通信工程管理等相关专业的教材使用。

### 图书在版编目(CIP)数据

通信管道与线路工程设计/刘强等编著. —北京:国防工业出版社,2006.1

ISBN 7-118-04183-1

I. 通... II. 刘... III. 通信线路—管道—设计  
IV. TN913.32

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 112975 号

国防工业出版社 出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号)

(邮政编码 100044)

涿中印刷厂印刷

新华书店经售

\*

开本 787×1092 1/16 印张 22¼ 550 千字

2006 年 1 月第 1 版 2006 年 1 月北京第 1 次印刷

印数:1—4000 册 定价:32.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)68428422

发行邮购:(010)68414474

发行传真:(010)68411535

发行业务:(010)68472764

# 前 言

目前,通信技术正以前所未有的规模和速度向前发展。各种新业务、新概念、新技术、新设备层出不穷。一直作为通信领域重点的通信传输网,无论是其骨干传输网还是用户网,也正以同样的规模和速度向大容量、高速率、远距离方向发展。作为通信建设过程中重要环节的通信工程设计,也由从仔细的安装工程设计为主,发展到需要先进行复杂的系统合成,再到传统的设计方法上来,共同完成其全部设计。由于目前国内出版的书籍中较少有此方面内容的介绍,更缺少一些完整的工程设计实例为广大的工程人员提供参考,为此,作者编写了此书。

本书较全面、系统地介绍了通信光、电缆构成,适应场合及工程设计的基本方法;详细介绍了各种线路建设形式包括通信管道、直埋、架空、用户电缆接入,智能建筑综合布线。各种介绍内容都有可直接应用于工程施工的设计实例。

本书由刘强负责整体结构和最后的总撰。全书共分为 12 章。第 1、2、12 章由刘强编写,并参与了其余各章的编写;第 3、6 章由童有卯编写,并参与了第 4 章的编写;第 4 章由张光宇编写;第 5、11 章由罗永健编写,并参与了第 2 章的编写;第 7 章由简玉仙编写,并参与了第 6 章编写;第 8 章由朱晓冰编写;第 9 章由张家荣编写,并参与了第 11 章的编写;第 10 章由姜平、和立永编写;屈振声、侯雪棉参与了第 4、8、10、12 章的编写;刘宝明、王宏伟参与了第 4、6、10、12 章的编写;呼小强参与了第 8 章的编写;张永柱参与了第 12 章的编写。卢跃兵、罗启昂绘制了附录中的全部附图。

在本书的编写过程中,我们得到了院、系、设备供应商和许多建设单位相关领导、同志的热情帮助和大力支持。张旭副教授、邓大鹏教授、沈惠明高工更是给予了大量的帮助和指导,在此表示衷心的感谢。同时对刘颖、缙智博表示深深谢意。

在本书的创作过程中,还得到了陕西天元通信工程设计公司的大力支持,在此对公司总经理司孜平、副总经理伍琼生及其员工表示谢意。

由于本书内容较多,特别是在实例的写作中有较少的书籍可供参考,加之作者水平有限,错误和不足在所难免,恳请读者赐教和指正,我们一定会全力改进,在后续工作中提高。

编著者  
2005.7

# 目 录

<b>第 1 章 通信传输线路</b> .....	1
1.1 常用通信光纤结构、特性、分类及选用 .....	1
1.1.1 光纤结构 .....	1
1.1.2 光纤主要特性 .....	3
1.1.3 光纤分类 .....	6
1.1.4 光纤类型选用 .....	7
1.2 常用通信光缆结构、分类、型号及选用.....	10
1.2.1 光缆结构.....	10
1.2.2 光缆分类.....	12
1.2.3 光缆型号.....	15
1.2.4 光缆类型选用.....	17
1.3 常用通信电缆结构、类型及选用 .....	18
1.3.1 电缆结构及技术要求.....	18
1.3.2 全塑市话电缆.....	20
<b>第 2 章 通信传输线路工程设计总论</b> .....	24
2.1 概述.....	24
2.2 通信传输线路设计内容和步骤.....	28
2.2.1 概述.....	28
2.2.2 设计的主要内容和要求.....	29
2.3 通信传输线路勘察内容和步骤.....	32
2.4 工程可行性研究报告和工程方案查勘.....	38
2.5 工程测量方法和测量仪表的使用.....	39
2.6 通信工程设计文件编制.....	50
2.6.1 编制概、预算的原则和作用及编制依据 .....	50
2.6.2 概、预算费用组成 .....	52
2.6.3 概、预算文件的编制 .....	62
2.7 工程勘察设计收费标准.....	65
2.7.1 工程勘察设计收费标准.....	65
2.7.2 通信线路工程勘察、设计收费标准的计费方法 .....	68
2.8 工程勘察设计管理.....	70
<b>第 3 章 通信管道工程设计基础</b> .....	75
3.1 概述.....	75
3.2 通信管道地基加固.....	77

3.3	通信管道基础的建筑	79
3.4	通信管道的建筑	82
3.4.1	管材的选用	82
3.4.2	水泥管通信管道的建筑	83
3.4.3	塑料管通信管道的建筑	84
3.4.4	钢管通信管道的建筑	85
3.5	人孔、手孔和通道的建筑	86
3.5.1	人孔的种类、形式及使用	86
3.5.2	通道建筑	87
3.6	通信管道的平面设计	90
3.7	通信管道的剖面设计	93
3.7.1	通信管道和人(手)孔的埋深、建筑和坡度	93
3.7.2	通信管道的坡度	96
3.7.3	通信管道与其它地下管线交越的处理	97
3.8	管道线缆敷设技术	102
<b>第4章</b>	<b>通信管道工程设计实例</b>	<b>108</b>
4.1	通信管道和管道光缆工程量的统计方法	108
4.2	通信管道实例	113
4.3	通信管道光缆实例	128
<b>第5章</b>	<b>通信光缆配盘与埋式光缆线路工程设计基础</b>	<b>130</b>
5.1	光缆配盘	130
5.2	埋式光缆敷设要求及标志设置	135
5.3	埋式光缆引出措施	137
5.4	埋式光缆线路的防护	140
5.4.1	埋式光缆防机械损伤保护	140
5.4.2	埋式光缆线路的防雷和防强电	143
5.4.3	埋式光缆线路的防腐蚀和鼠、虫	147
5.4.4	埋式光缆线路的防洪	151
5.4.5	接地	156
<b>第6章</b>	<b>埋式光缆线路工程设计实例</b>	<b>166</b>
6.1	通信埋式光缆线路工程量的统计方法	166
6.2	埋式光缆线路实例	170
<b>第7章</b>	<b>通信架空光缆线路工程设计基础</b>	<b>188</b>
7.1	架空光缆线路工程设计的一般要求	188
7.2	架空光缆路由的杆路建筑	190
7.3	架空光缆敷设技术	197
<b>第8章</b>	<b>架空光缆线路工程设计实例</b>	<b>204</b>
8.1	通信架空线路工程量统计方法	204
8.2	架空光缆线路实例	205
<b>第9章</b>	<b>用户电缆线路工程设计基础</b>	<b>220</b>

9.1	用户线路传输设计 .....	220
9.1.1	市(农)话线路网的构成 .....	220
9.1.2	线路传输设计标准 .....	221
9.1.3	用户线路环路设计的基本方法 .....	222
9.2	用户电缆配线方式及选择 .....	224
9.2.1	交接区、配线区和电缆容量的有关规定 .....	224
9.2.2	配线方式及选择 .....	226
9.3	架空电缆安装工程设计 .....	231
9.3.1	架空电缆在建设安装上的一般要求 .....	231
9.3.2	架空电缆分线设备的安装设计 .....	232
9.3.3	架空电缆接地保护 .....	235
9.4	墙壁电缆安装工程设计 .....	236
9.4.1	概述 .....	236
9.4.2	墙壁电缆敷设安装方法 .....	237
9.4.3	墙壁电缆分线设备的安装设计 .....	241
9.4.4	墙壁电缆的保护措施 .....	242
9.5	电缆进线室安装设计 .....	244
<b>第 10 章</b>	<b>用户电缆线路工程设计实例 .....</b>	<b>246</b>
10.1	用户电缆线路工程量统计方法 .....	246
10.2	用户电缆线路实例 .....	247
<b>第 11 章</b>	<b>智能大厦综合布线系统工程设计基础 .....</b>	<b>266</b>
11.1	综合布线系统构成 .....	267
11.2	综合布线系统传输设计 .....	273
11.3	综合布线系统的工程设计 .....	277
11.3.1	建筑物综合布线系统的设计等级 .....	277
11.3.2	综合布线各子系统的设计 .....	278
<b>第 12 章</b>	<b>综合布线系统工程设计实例 .....</b>	<b>286</b>
12.1	综合布线系统工程量和非定额器材统计方法 .....	286
12.1.1	综合布线系统工程量统计方法 .....	286
12.1.2	综合布线系统非定额器材统计方法 .....	288
12.2	综合布线系统实例 .....	291
<b>附录</b>	<b>通信管道、线路工程设计常用图形符号 .....</b>	<b>319</b>
	<b>参考文献 .....</b>	<b>335</b>

# 第 1 章 通信传输线路

作为通信线路工程设计的基本前提,本章涉及的主要内容为通信缆线的结构、特性、分类及其选用。有关通信缆线与整个传输系统的相互关系、通信传输发展方向等的相关内容可参阅相关资料。

## 1.1 常用通信光纤结构、特性、分类及选用

光纤是由折射率较高的纤芯和包围在纤芯外面的折射率较低的包层所组成的光的传输媒质,一般为双层或多层的同心圆柱体,为轴对称结构,如图 1.1 所示。

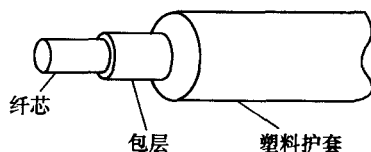


图 1.1 光纤的结构

纤芯用来导光,包层保证光全反射只发生在纤芯内,涂覆层(塑料护套)的作用是进一步确保光纤的力学性能和传输性能。光纤中光的传输过程一般可以用几何光学和波动两种理论来解释,本书不再论述。这里主要从光纤通信工程的角度出发,以光纤的结构、材料、传输特性、温度特性及机械特性等方面来认识光纤。

### 1.1.1 光纤结构

描述光纤结构的参数主要有光纤的几何参数、折射率分布、数值孔径(NA)、截止波长和模场直径。这些参数仅与光纤横截面的物理构成相关,与光纤的长度及传输状态无关。但光纤的不同结构参数对光纤的性能会产生不同影响。

#### 1. 光纤的几何参数

根据 ITU-T(国际电信联盟)及 IEC(国际电工委员会)的推荐,多模光纤的几何参数包括纤芯直径、包层直径、纤芯不圆度、包层不圆度、纤芯与包层同心度等;单模光纤的几何参数包括包层直径、包层不圆度、纤芯与包层同心度误差(或模场包层同心度误差)。ITU-T 及 IEC 标准均对光纤物理尺寸做出了相应的规定,这些尺寸是制造光纤时的重要依据。光纤的几何尺寸、结构参数除对光纤的传输性能和力学性能有影响外,对光纤的连接(接续)损耗也产生较大影响。

#### 2. 折射率分布

光纤的折射率分布描述了光纤从芯到包层的折射率随半径的变化,即光纤的折射率为光



纤半径的函数。单模光纤的折射率分布决定了单模光纤的截止波长、模场直径和色散。多模光纤的折射率分布对多模光纤的带宽具有决定性的影响。折射率的设计原则一般要求设计出的光纤具有高带宽、低色散、小的衰减系数,并有合理的剖面结构,以减少其生产成本。

### 3. 数值孔径(NA)

数值孔径是多模光纤的重要参数之一,它表征了多模光纤接受光的能力,同时也反映了该光纤与光源或别的光纤耦合的难易程度。数值孔径是多模光纤的特有结构参数。

### 4. 截止波长

截止波长为单模光纤所特有的结构参数,它给出了保证单模光纤传输的光波长范围。所谓截止波长,是指次低阶模 $LP_{11}$ <sup>①</sup>的截止波长。单模光纤传输系统的工作波长必须大于截止波长,否则光纤将工作在多模区,产生模式噪声和模式色散,从而导致传输性能恶化和带宽下降。但工作波长不宜偏离截止波长太远,以免有更多的光功率分布在包层中,影响传输性能。截止波长对于光纤光缆制造厂商、光缆的用户设计和使用光纤传输系统均有很大意义。

### 5. 模场直径

模场直径是单模光纤特有的一个重要参数。所谓模场,就是指光纤中 $LP_{01}$ 模的基模场电场强度随空间变化的分布。而模场直径就是基模近场光斑的大小,如图 1.2 所示, $E(r)$ 为基模场的电场强度, $r$ 为光纤横截面的径向坐标。

模场直径的取值和容差范围与光纤的连接损耗和抗弯特性有着直接联系。此外,模场直径随波长变化谱还能用来确定单模光纤的截止波长和估算出光纤的色散系数,因此,不管对生产还是施工,模场直径都是一个非常重要的参数。单模光纤之所以采用模场直径而不采用纤芯的几何尺寸作为其结构参数,是因为单模光纤中的场并不是完全集中在纤芯中,有相当部分的能量在包层中传输。

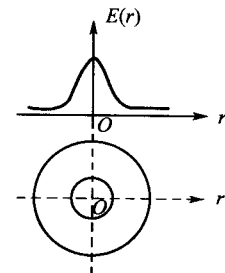


图 1.2 基模近场功率分布图

表 1.1、表 1.2 分别给出了渐变多模(GI)光纤和标准 G.652 光纤的结构参数实例。

表 1.1 渐变多模(GI)光纤结构参数的实例

名称	50/125 多模	62.5/125 多模
芯径 $2a$	$50 \pm 3\mu\text{m}$	$62.5 \pm 3\mu\text{m}$
参考表面直径 $2b$	$125 \pm 3\mu\text{m}$	$125 \pm 2\mu\text{m}$
纤芯/参考表面同心偏差 $c$	$\leq 6\%$	$\leq 6\%$
纤芯不圆度	$< 6\%$	$\leq 6\%$
包层不圆度	$< 2\%$	$\leq 2\%$
折射率分布 $n(r)$	近似于抛物线	近似于抛物线
数值孔径	$20 \pm 0.02$	$0.275 \pm 0.015$

①  $LP_{11}$ : Linearly Polarized (Lp) mode(线偏振模), 下标 11 为波形编号, 表示沿半圆周数得到的光斑个数为 1 和沿半径数得到的光斑个数也为 1。

表 1.2 单模(SM)光纤结构参数实例(G.652 光纤)

结构参数	技术指标
模场直径	$(9\sim 10)\mu\text{m} \pm (0.9\sim 1)\mu\text{m}$
包层直径 $2b$	$(125 \pm 2)\mu\text{m}$
模场/包层同心度误差	1310nm 波长不大于 $1\mu\text{m}$
包层不圆度	小于 2%
截止波长 $\lambda_c$	1270nm

### 1.1.2 光纤主要特性

除了结构参数外,在实际应用中,光的传输还会受到光纤自身传输特性(衰减、色散、非线性效应)的影响;而就使用环境而言,光纤也会受到温度和本身机械特性的影响。

#### 1. 衰减

##### 1) 衰减定义

光波在光纤中传输时,光功率随着传输距离的增加会减少,这种现象称为光纤的衰减(损耗)。光纤的衰减是光传输设计必要参数之一,可用下式表示:

$$P(L) = P(0)10^{\frac{\alpha L}{10}} \quad (1.1)$$

式中  $P(L)$ ——传输到光纤轴向距离  $L$  处的光功率;

$P(0)$ ——在  $L=0$  处注入光纤的光功率;

$\alpha$ ——衰减系数(dB/km);

$L$ ——距离(m)。

##### 2) 衰减系数

当光纤损耗均匀时,其损耗常用衰减系数  $\alpha(\lambda)$  来表达:

$$\alpha(\lambda) = \frac{10}{L} \lg \left( \frac{P(L)}{P(0)} \right) \quad (1.2)$$

式中  $\alpha(\lambda)$ ——波长  $\lambda$  处的光纤衰减系数(dB/km)。

常用的石英玻璃系列单模光纤的衰减系数在 1310nm 波长处约为 0.35dB/km,在 1550nm 波长处约为 0.20dB/km。

### 2. 色散

由于光纤中传输的光脉冲信号的各频率成分和各模式成分的传输速度不同,经过一定距离光纤的传输后,会使输出端的光脉冲发生展宽,当光脉冲展宽到前后沿相互重叠时,就会形成码间串扰,这种现象称为色散。色散会导致通信系统的误码增加,限制光信号的高速传输和传输中继距离。色散是单模光传输系统传输设计的特有参数。掺铒光纤放大器的开发成功和应用,较好地解决了光纤通信中的损耗问题以及超高速和波分复用技术在光纤通信系统中的应用,因此色散已成为光纤传输理论的一个重要课题。光纤的色散主要有模式色散、材料色散、波导色散和偏振模式色散等。多模光纤色散主要包括模式色散、材料色散和波导色散等。单模光纤由于只传输一个模式,故单模光纤色散不存在模式色散,主要有材料色散、波导色散和偏振模式色散。

为了降低光纤中的各种色散现象,除了使用啁啾(指信号脉冲的载波频率随时间而改变)

小谱线宽度很窄的分布反馈式激光器并使系统工作于光纤色散为零的波长附近外,人们还提出如下方案来解决色散问题,如采用色散补偿(DCF)、线性啁啾光纤光栅(LCFG)、中距离光谱反转技术(MSSI)、光孤子通信色散支持传输(DST)和预啁啾技术等。目前偏振模色散(PDM)也正在广泛的研究之中。

### 3. 光纤非线性效应

在长距离光纤通信系统中,随着大功率半导体激光器和掺铒光纤放大器(EDFA)的推广使用,使得传输线路中的光功率增大,从而可能导致产生各种光纤非线性现象,这种现象极大地恶化了系统的传输特性。

光纤的非线性可分为两类:受激散射和折射率扰动。

#### 1) 受激散射

受激散射发生的非线性现象有两种:一是受激布里渊散射,二是受激拉曼散射。

##### (1) 受激布里渊散射

受激布里渊散射(Stimulated Brillouin Scattering, SBS)是由光纤中的光信号和声波之间相互作用所引起的非线性现象。SBS表现为当光纤注入功率大于受激布里渊散射(SBS)阈值时,SBS将把一种部分输入光功率转换为后向斯托克斯波,即转化为后向散射光。该后向散射光进入光源后,会使激光振荡产生不稳定现象,使激光波长发生变化,使激光器对强度噪声RIN(信噪比)恶化;同时,SBS造成光链路损耗增加,使系统信噪比指标下降。此外,SBS还将引起系统的复合二阶失真(CSO)恶化,造成系统误码。在所有的光纤非线性效应中,SBS的阈值最小,在窄线宽情况下可能仅仅只有几个毫瓦的量级。

目前对SBS的抑制方法有单频相位调制法和激光器高频抖动法。单频相位调制法对SBS阈值的提高量可达到5dB左右,如要进一步提高SBS阈值,必须同时采用相位调制法与激光器高频抖动法。在系统设计中必须保证入纤功率不超过SBS阈值。在应用加宽淘汰谱线宽方法(SBS阈值随淘汰谱线宽的宽度增大而增大)抑制SBS效应的同时,应考虑进行色散补偿。

##### (2) 受激拉曼散射

受激拉曼散射(Stimulated Raman Scattering, SRS)是光信号与石英玻璃光纤中的分子振动的相互作用引起的非线性现象。SRS主要表现为当光纤注入光功率大于其阈值光功率时,会使光纤发生向前和向后的散射光,此时光纤就起到拉曼放大器的作用。在拉曼增益带宽内,高频信道的能量通过受激拉曼散射向低频信道转移,从而引起低频信道信号的放大和低频信道信号的衰减。由于拉曼增益带宽很宽,信道间距很宽的两个信道也会受到拉曼散射的影响,因此,SRS限制了光纤通信容量,并产生信道串话。对单信道系统而言,SRS阈值约为1W。抑制SRS可采用的方法有:使用光隔离器来消除后向散射光;通过控制每个信道的功率,使波分复用信道功率和经EDFA(掺铒光纤放大器)放大后的输出光强不超过1W,从而有效抑制SRS。

#### 2) 折射率扰动

在光功率的作用下,石英玻璃光纤折射率是保持恒定的,但在使用大功率半导体激光器和掺铒光纤放大器的情况下,光纤获得的高功率会引起光纤折射率的变化。

折射率扰动引起的四种非线性效应为光的克尔效应、自相位调制、交叉相位调制和四波混频。

##### (1) 光的克尔效应

光的克尔效应即光感应的对折射现象。它是在光纤中,由于光纤中光的高功率或外界强电磁脉冲引起的非线性现象,是强光场引起光学折射率改变的结果。这一效应通过自相位调制(SPM)来体现,它对光纤的偏振模色散将产生影响。

## (2) 自相位调制

自相位调制(Self Phase Modulation, SPM)是由一个脉冲对自身相位的作用而引起的。一次脉冲的两个边表示一个变时光强,该光强产生一个变时折射率。改变的折射率调制传输的光脉冲的光谱。SPM的主要作用是展宽光纤内传输的光脉冲的频谱。如果这种作用十分强大,那么在密集波分复用系统中,光谱展宽会重叠进入邻近的信道,从而严重影响系统性能。SPM对系统性能的影响,可通过选用低色散或零色散的光纤来减小。

在某些条件下,SPM是有利的。可利用SPM与激光器啁啾和正的群速度色散(GVD)的相互作用来暂时压缩传输的脉冲,导致净啁啾为零,从而形成孤子(光脉冲波形宽度在传输过程中始终维持不变)。

## (3) 交叉相位调制

交叉相位调制(Cross Phase Modulation, CPM)是一个脉冲对其它信道脉冲相位的作用,其产生方式与SPM相同。CPM与SPM所不同的是,SPM发生在单信道和多信道系统中,而CPM仅出现在多信道系统中。

## (4) 四波混频

四波混频(Four Wave Mixing, FWM)是指当有任意两个或三个频距很小的光波 $f_i$ 、 $f_j$ 和 $f_k$ ( $k \neq i, j$ )注入光纤时,由于光纤的三阶非线性电极化率的相互作用,就会产生频率为 $F_f = f_{ijk} = f_i + f_j - f_k$ 的新光频分量,并遵守能量守恒和动量守恒定律,其新增波长数 $N = n_0^2(n_0 - 1)/2$ ( $n_0$ 为原始波长数)。

FWM效应的作用有两个方面:一是可利用FWM过程产生的新光频分量设计出多种新型光器件,如全光波长变换器、光能复用器、光相位共轭器及色散补偿器等;二是FWM在光密集波分复用(ODWDM)技术中,由于信道多而密集,信道间隔小,光功率密度大,致使FWM现象显著,造成系统的信号功率下降,串音或误码率上升,使系统性能变坏。消除或减弱FWM影响的技术途径主要有以下三种:

① 利用适当的等间距的信道配置设计来实现。其代价是系统占用带宽过大,信道数量限于10个,信道速率限于10Gb/s以下。

② 利用划分部分等间距的信道并结合非零色散位移光纤来消除FWM。

③ 利用恰当的色散管理方案,使全色散补偿波长配置于系统带宽之外,可以抑制长距离传输积累的FWM干扰影响。

总之,光纤的各种非线性现象将会对系统产生各种影响,对非线性现象应综合考虑各种方法加以抑制。

## 4. 机械特性

要使光纤在实际的通信线路上使用,它必须具有足够的机械强度以便成缆和敷设,且要具有较强的抗疲劳能力,以延长其使用寿命。按照石英玻璃原子间的结合力推算,光纤的理论计算抗拉力可达30kg。但由于光纤表面甚至光纤内部不可避免地存在一定的缺陷,实际上光纤的强度只能达到理论值的1/4左右。即便如此,光纤的强度比同直径的钢丝抗拉强度还要大一倍,这主要是光纤涂覆层的作用。因此,涂覆材料、涂覆层厚度、同心度以及光纤控制工艺、环境清洁度对光纤的最终强度都有影响。目前,用来表征具有预涂覆层或缓冲层光纤的机械强度、操作性能、物理缺陷、涂覆层可剥离性和挠曲性能优劣等的实验测量方法有:筛选试验、光纤抗拉强度试验、磨损试验、目视静态和动态疲劳试验等。而对使用用户重要的筛选应力(筛选试验即是将整个光纤制造长度上的强度低于或等于筛选应力的点除去,保证剩下光纤

机械可靠性), 国标中规定其应超过 0.69GPa。

### 5. 温度特性

光纤的温度特性是指光纤的使用温度范围。光纤在生产时, 为了保护光纤表面, 在光纤刚拉出时应立即涂上一层保护的涂覆层。为了便于成缆时抵抗外表的侧压力, 涂覆层外还要套塑。由于光纤整体结构中的各种材料膨胀系数不一致(石英玻璃的膨胀系数约为  $3.4 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$ , 涂覆层和塑料的膨胀系数约为  $10^{-3}/^{\circ}\text{C}$ , 石英和塑料涂覆层的长度变化量相差约 1000 倍), 因而, 当温度变化时, 涂覆和套塑后的光纤温度特性比裸光纤的特性要差。在温度降低时, 由于涂覆层收缩比石英纤芯大, 因而会使光纤受到很大的轴向压力而产生微弯曲, 使光纤的损耗增大。当把光纤制成光缆时, 由于加强了光缆中构件的支撑作用, 阻碍了光纤套管在低温时的收缩, 使得光纤的温度特性得到较大改善。ITU-T 对光纤的温度(损耗)特性也做了规定, 具体见表 1.3。

表 1.3 多模、单模光纤规定的温度(损耗)特性

温度/ $^{\circ}\text{C}$	温度(损耗)特性/(dB/km)				代 号
	0 级	1 级	2 级	3 级	
-40 ~ +40	0.0	0.1	0.2	0.3	A
-30 ~ +50					B
-20 ~ +60					C
-5 ~ +60					D

### 1.1.3 光纤分类

根据光纤的使用材料、使用波长、传播模式、折射率分布和制造方法的不同, 光纤可分为很多类, 其具体分类如图 1.3 所示。

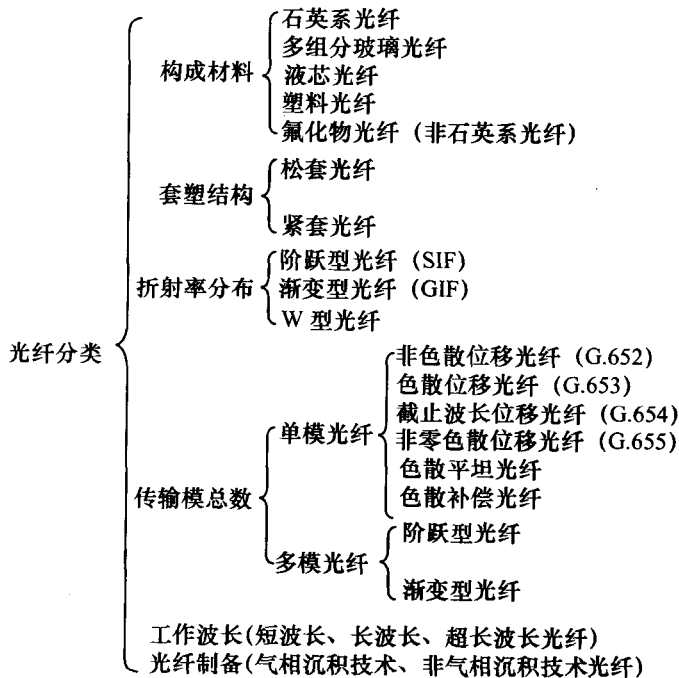


图 1.3 光纤的分类

另依据国际电工委员会标准 IEC-1-1(1995), 光纤按所用材料、折射率分布形状、零色散波长等被分为 A 类和 B 类两大类, 其中 A 类为多模光纤, B 类为单模光纤。多模光纤的分类见表 1.4, 单模光纤的参数特性见表 1.5。

表 1.4 多模光纤的分类

类别	材料	类型	折射率分布指数 $g$ 极限值
A1	玻璃芯/玻璃包层	梯度折射率光纤 G.651	$1 \leq g < 3$
A2.1	玻璃芯/玻璃包层	准阶跃折射率光纤	$3 \leq g < 10$
A2.2	玻璃芯/玻璃包层	阶跃折射率光纤	$10 \leq g < \infty$
A3	玻璃芯/玻璃包层	阶跃折射率光纤	$10 \leq g < \infty$
A4	塑料光纤		

表 1.5 单模光纤的参数特性

类别	性能 光纤种类	模场直径 / $\mu\text{m}$	截止波长 / $\text{nm}$	零色散波长 / $\text{nm}$	工作波长 / $\text{nm}$	衰减系数 /(dB/km)		色散系数 /(ps/nm·km)	
						1310nm	1550nm	1310nm	1550nm
B1.1 和 B1.3	非色散位移单模光纤 G.652(1310nm)	9	$\leq 1260$	1310	1310	$\leq 0.36$	$\leq 0.22$	0	+18
B2	色散位移单模光纤 G.653(1310nm)	8.3	$\leq 1270$	1550	1550	$\leq 0.45$	$\leq 0.25$	-18	0
B1.2	1550nm 低衰减单模光纤 G.654(1550nm)	10.5	$\leq 1530$	1310	1550	$\leq 0.45$	$\leq 0.20$	0	+18
B4	非零色散位移单模光纤 G.655(1550nm)	8~11	$\leq 1480$	非零色散 波长 1540~1565	1540~ 1565	$\leq 0.50$	$\leq 0.24$	-18	$1 \leq  D  \leq 4$
B3	色散平坦(1310nm)单模光纤(1510nm)	8 11	$\leq 1270$	1310~ 1550	1310~ 1550	$\leq 0.50$	$\leq 0.40$	0	0
	色散补偿单模光纤(1550nm)	6	$\leq 1260$	>1550	1550		$\leq 1.00$		-80~150

### 1.1.4 光纤类型选用

由于常规多模 G.651 光纤有相对较固定的使用场合, 多用于短距离局域网的组网, 因而在此只对单模光纤和塑料多模光纤的使用场合进行介绍。

#### 1. 非色散位移单模光纤

非色散位移单模光纤 (ITU-T G.652) 波长在 1310nm 处为最佳单模光纤, 它于 1983 年开始商用, 是目前最常用的单模光纤, 主要用于 1310nm 波长区开通长距离 (622Mb/s 及其以下) 系统, 在 1550nm 波长区开通 2.5Gb/s 和  $N \times 2.5\text{Gb/s}$  ( $N$  为正整数) 波分复用系统。这种光纤的零色散波长在 1310nm 处, 衰减约为 0.35dB/km。在波长为 1550nm 处衰减最小, 约为 0.22dB/km, 但有较大的正色散 (大约 +18ps/nm·km)。当在 1310nm 工作时, 衰减把再生间隔限制于 80km 左右, 色散可以忽略。在 1550nm 波长工作时, 对于速率为 622Mb/s 的系统,

增大的色散仍可使光通信系统无中继传输达 100km 以上,但当速率为 2.5Gb/s 时,色散将仍然把再生距离限制到 80km 左右。如果想降低色散的影响,除了采用昂贵的分布反馈激光器进行外调制外,还可引入色散补偿光纤进行色散补偿,并引入更多的掺铒光纤放大器来补偿由引入色散补偿产生的损耗。

## 2. 色散位移光纤(DSP)

色散位移光纤(ITU-T G.653 光纤)在波长 1550nm 处为最佳单模光纤,于 1985 年投入商业使用。色散位移光纤是通过改变光纤的结构参数、折射率分布状态,加大波导色散,将最小零色散点从波长 1310nm 位移到光纤传输衰减最小的 1550nm 窗口的单模光纤,并且在掺铒光纤放大器工作波长区域内。它是一种比普通单模光纤(SMF)更优越的传输媒质。在 1550nm 波长区,它不仅具有最低衰减特性,而且具有零色散波长,这种光纤主要用于 1550nm 波长区开通长距离(10Gb/s 及其以上)系统。但是,由于光纤放大器和波分复用技术的发展与应用,色散位移光纤在 1550nm 处的零色散因为光纤的非线性效应而变得有害,从而产生严重的四混频效应,所以不支持波分复用系统。除了在有些长距离的系统(海底系统)外,目前已较少使用。

## 3. 1550nm 最低衰减光纤

1550nm 最低衰减光纤(ITU-T G.654 光纤)在波长 1550nm 处为衰减最小单模光纤,又称截止波长位移光纤,其在 1550nm 工作窗口衰减约为 0.18dB/km。这种光纤制造特别困难,因此价格十分昂贵,主要应用于传输距离很长,且不能插入有源器件的无中继海底长距离光纤通信系统。

## 4. 非零色散位移光纤

ITU-T 于 1996 年提出 G.655 建议。通常,将遵照 G.655 建议的这种光纤称为非零色散位移光纤。

非零色散位移光纤把零色散点位置上移或下移至密集波分复用(DWDM)系统和掺铒光纤放大器(EDFA)之外。克服了 G.652 光纤在 1550nm 波长色散大和 G.653 光纤在 1550nm 波长产生的非线性不支持波分复用系统的缺点。G.655 光纤在 1530nm~1565nm 波长内的特定最小色散,足以抑制 EDFA 产生的四波混频,同时,又能允许以 10Gb/s 速率传送 400km,而不需另加色散补偿措施,它主要用于 1550nm 波长区开通长距离(10Gb/s 及其以上)波分复用的高速传输系统。

## 5. 色散平坦光纤

色散平坦光纤在 1310nm~1550nm 波段范围内都是低色散,且具有两个零色散波长。这种光纤可用频分复用(FDM)或波分复用(WDM)方式在一根光纤上传输多个光载波,从而极大地扩展通信容量。但是,色散平坦光纤的折射率剖面结构复杂,制造难度大,尤其是该光纤的衰减大,实用性差。

## 6. 色散补偿光纤(DCF)

随着光纤放大器的应用,衰减对光纤通信系统距离的限制已不是主要问题,而色散却严重阻碍 G.652 单模光纤在 1550nm 的升级扩容。为解决这一实际问题,人们研制出了色散补偿光纤。

当 1310nm 单模光纤系统升级扩容至 1550nm 波长工作区时,其总色散呈正色散值,通过在该系统中串一段负色散光纤,可抵消几十千米常规光纤在 1550nm 处的正色散。为了获得显著的补偿效果,DCF 与 G.652 光纤长度的选择应符合下式:

$$D(bs)L + D_c(bs)L_c = 0$$

式中  $D(bs)$  和  $D_c(bs)$ ——G.652 光纤和色散补偿光纤在工作波长  $bs$  的色散系数；  
 $L$  和  $L_c$ ——G.652 光纤和色散补偿光纤的长度。

### 7. 塑料多模光纤

塑料光纤按折射率剖面结构可分为两种：阶跃折射率多模塑料光纤(SI-POF)和梯度折射率塑料光纤(GI-POF)。

塑料光纤发明于 20 世纪 60 年代,被广泛用于传感器、照明和装饰等方面,但在电信领域中一直没有得到广泛的应用。近年来,随着含氟化塑料的应用和渐变折射率(GI 型)的开发,塑料光纤在电信行业逐步得到应用。

为满足各种短距离通信的需要,现已研制出五种塑料光纤,其组成、特点、用途见表 1.6,塑料光纤的主要性能见表 1.7。

表 1.6 各种塑料光纤的组成、特点及用途

光纤种类	特点	用途
小数值孔径塑料光纤	数值孔径为 0.5 时,带宽为 7.5MHz·km;数值孔径为 0.3 时,带宽提高至 12MHz·km	装饰和传感器;156Mb/s,100m 和 250Mb/s,50m 短距离通信
梯度折射率分布塑料光纤	折射率分布呈梯度分布,该光纤的衰减系数为 0.15dB/km,带宽为 1.25GHz·km	吉比特短距离通信
改进的聚碳酸酯塑料光纤	工作波长 780nm,该光纤既耐温,又防潮,且价格低廉、性能稳定	汽车通信
正缬氨酸环塑料光纤	该光纤 150℃ 时不会发生皱缩,传输衰减系数为 0.8dB/m	汽车通信
硅树脂塑料光纤	该光纤具有极优的耐热、防潮性能	汽车通信

表 1.7 塑料光纤的主要性能

	低数值孔径塑料光纤	梯度塑料光纤	改进的 PC 塑料光纤	梯度全氟塑料光纤
衰减系数/(dB/m)	0.2	0.5	0.3	0.05
带宽/(Hz·km)	20M	1.25G	20M	2G
传输速率/(b/s)	155M	1.25G	155M	1.25G
传输距离/m	100	100	100	200
光源/nm	660 LED	660 LED	780 LED	1300 LD
耐热温度/℃	85	85	125	
光纤价格	低	中	中	高
链路投资	中	大	少	大
主要应用	LAN	LAN	汽车通信	汽车通信



## 1.2 常用通信光缆结构、分类、型号及选用

光缆是依靠其中的光纤提供信道来传递信息的。经过一次涂覆和二次涂覆的光纤虽然具有一定的抗张强度,但仍较脆弱,经不起弯折、扭曲和侧压力的作用。为了能使光纤用于多种环境下,又便于敷设施工,必须将光纤和其它元件组合起来构成一体,这种组合体就是光缆。本节介绍光缆的结构、光缆的机械和环境特性及光缆的分类、型号及选用。

### 1.2.1 光缆结构

光缆的基本结构一般由缆芯、加强构件、填充物和护层等几部分组成,另外根据需要还有防水层、缓冲层、绝缘金属导线等构件。

#### 1. 缆芯

为了进一步保护光纤,提高光纤的强度,一般将带有涂覆层的单根光纤再套上一层塑料层,通常称为套塑,套塑后的光纤称为光纤芯线。根据使用条件和用户要求,套塑可分为紧结构和松结构。

紧结构光缆的特点是光纤在光缆中无自由移动空间。要使紧结构光缆有较好的机械特性和温度特性,光纤一次涂覆须选用弹性模量小的热固化硅橡胶,且涂层要厚,二次涂覆层要选用弹性模量稍大的涂料作为涂层,与一次涂覆层紧密接触。

松结构光缆的特点是光纤在光缆中有一定自由移动空间。这种特点有利于减小外界机械应力(或应变)对一次涂覆光纤的影响。对松结构光缆一次涂覆采用紫外光固化丙烯酸环氧树脂,其涂覆粘结强度比热固化硅橡胶高。目前使用的光缆多为松结构光缆。

紧结构包括绞合结构和带状结构两种;松结构包括绞合结构、带状结构及骨架式结构三种。将套塑后且满足机械强度要求的单根或多根光纤芯线以不同形式组合在一起称为缆芯。

对于多芯光缆,一般是由以上几种基本结构(紧结构、松结构)为单位组成单元式结构,或在松结构的一个套管(松套管)中或一个骨架槽中放入多根光纤绞合而成,目前常用的几种结构的光缆如图 1.4 所示。

绞合型光缆是紧结构光缆的主要形式,它是将光纤以一定的节距绞合成缆,并紧紧地包在塑料之中。这种结构的光缆一般都是以中心强度元件来承受张力,用低线性膨胀系数的加强构件来限制因温度变化引起的光纤纵向压缩应变,从而达到改善光纤特性的目的。用这种结构制成光缆单元,再把这些单元绞合成缆,可制成高密度的多芯光缆。

骨架式光缆是松结构光缆中最典型的一种。由于光纤在缆(松套管)中是“自由”的,有一定的“伸缩”余地,所以当光缆受到张力或侧压力时,光纤本身并不会受到应力的影响,避免了光纤的微弯。同时,这种结构中的光纤不直接受侧向力的作用,使得光缆具有优异的抗冲击性能,并且成缆引起的微弯损耗较小。

带状结构的光缆是将多根光纤排列成行制成带状光缆单元,然后再把若干条带状单元按一定的方式排列扭绞成缆的。这种结构光缆的特点是空间利用率高,光纤容易处理和识别,可做到多根光纤一次接续,但制造工艺复杂,加工引起的微弯损耗及光缆的温度特性较难控制。

不管是紧结构的光缆,还是松结构的光缆,都可以使光纤保持成缆前的传输性能,满足使用要求。松结构光缆可以使光纤在缆中完全不受力,从而确保光纤的使用寿命,不过松结构的