

# 通信管道与线路 工程设计

(第2版)

刘强 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

(第2版)

刘强 童有卯 饶学军 简玉仙 解东宏 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术方法。

全书由13章组成。第1章~第3章为基础总论部分,介绍了通信光电缆构成、适应场合,工程设计,通信工程概、预算的基本方法;第4章~第13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和直埋、架空、用户线缆、智能建筑综合布线光缆、电缆敷设的工程设计基础知识和实现其设计的完整实例。

本书叙述由浅入深,循序渐进;内容系统、全面、前沿,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,也可供大专院校通信工程、信息工程和通信工程管理等相关专业的教学和学生参考使用。

### 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. —2版.  
—北京:国防工业出版社,2009.1  
ISBN 978-7-118-05884-0

I. 通... II. 刘... III. 通信电缆—管道敷设  
IV. TN913.32

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 112643 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 100048)

新艺印刷厂印刷

新华书店经售

\*

开本 787×1092 1/16 印张 26 $\frac{3}{4}$  字数 675 千字

2009 年 1 月第 2 版第 1 次印刷 印数 1—5000 册 定价 45.00 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

《通信管道与线路工程设计》出版2年以来受到了广大读者的喜爱,出版社也为本书的出版付出了大量的心血,这一切都使作者感到兴奋与鼓舞。经过几年的发展,通信管道与线路相关技术领域的知识、方法又有了新的发展,作者个人的感悟也有了进一步的提高,学界也为通信管道与线路方面的建设提供了更多、更好的素材。所有这一切,促使我们对第1版做了修订,以便把几年来的学习所得和第1版中没有表达出来的知识内容奉献给大家,与大家一起分享国内众多本领域专家的劳动心得与成果。

我们知道,通信管道与线路工程设计作为通信系统建设的一个重要组成部分,经过几十年的发展,部分产品、技术已经相当成熟。但通信管道与线路的建设作为通信工程建设中的不可缺少的关键建设环节,其设计技术又关系到整个通信基础建设的可靠性和可持续发展的能力,最终决定了网络能否为用户提供安全、可靠的服务和满足用户未来的需求。

本书较全面、系统地介绍了通信光缆和电缆的构成、适应场合及工程设计的新技术、新方法;对各种线路建设形式包括通信管道、直埋、架空、用户电缆接入、智能建筑综合布线都有更加详细的介绍,且对各种介绍内容都有可直接应用于工程施工的设计实例。本书吸收了国内本领域的最新研究成果,与第1版相比,主要修改内容如下:

(1) 第1章为通信传输线路,对光纤、光缆类型的特性、选用进行了重点的修改,增加了光纤工作波长的内容,特别对光纤到家庭(FTTH)中的光纤、光缆的选用进行了重点的补充。

(2) 第2章为通信传输线路工程设计总论,增加了通信线路优化理论及可靠性设计一节的内容。

(3) 对第1版第2章内容进行了重新划分,其中的通信概、预算内容改为第2版第3章。本章对通信概、预算的一些基本原理进行了补充编写。

(4) 第4章为通信管道工程设计基础,第2版对其做了较大程度的修改。首先对结构进行了调整,使结构更加清晰,更加符合读者的阅读习惯;其次对通信管道定线与测量、管道容量的估算、管材的选用、用户通信管道手孔规格的选择、通信管道顶管侧人井(孔)建筑、通信管道的段长等内容进行了补充和修改,增加了通信管道的联建、统建共用一节的内容。

(5) 第6章为通信光缆配盘与直埋光缆线路工程设计基础,增加了直埋光缆接头盒的浸水防治一节的内容,并对直埋光缆防雷一节进行了修改。

(6) 第8章为架空光缆线路工程设计基础,结合架空光缆的防冰凌,对拉线一节做了较大的补充,并就架空光缆的防雷措施等内容进行了修改和补充。

(7) 第10章为用户线缆线路工程设计基础,对第1版的章名称进行了变更,以使结构更加清晰。本章对用户电缆配线一节做了较大程度的修改和补充,并增加了光缆交接箱及进线室安装设计一节的内容。



(8) 第 12 章为智能大厦综合布线系统工程设计基础,首先增加了综合布线建设的基本原则相关内容;其次对各子系统的设计增加了大量工程设计实例,并就综合布线国家新规范进行了介绍;最后增加了综合布线系统价值工程评估一节的内容,为综合布系统的综合评估提供了一个新的思路。

刘强负责本书的结构和最后的总纂。参加修改、编写的人员有刘强、童有卯、饶学军、简玉仙、姜平、王宏伟、沈惠明、贾蓓、周怀军、侯银涛、解东宏。

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。同时,书中引用了一些专家、学者的研究成果和著作,在此,对这些专家和学者也表示深深的谢意。

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,在此表示谢意。

这里还要感谢国防工业出版社丁福志编辑,他的敬业精神令我感动,正是他的工作热情感染了我,使得本书得以早日完成。

由于本书内容较多,特别是在实例的写作中可参考的书籍较少,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。

编者  
2008年7月

# 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 .....	2
1.1.3 光纤工作波长 .....	3
1.1.4 光纤分类 .....	7
1.1.5 光纤类型选用 .....	8
1.2 常用通信光缆结构、分类、型号及选用 .....	15
1.2.1 光缆结构.....	15
1.2.2 光缆分类.....	17
1.2.3 光缆型号.....	20
1.2.4 光缆类型选用.....	23
1.3 常用通信电缆结构、类型及选用.....	29
1.3.1 电缆结构及技术要求.....	29
1.3.2 全塑市话电缆.....	30
<b>第 2 章 通信传输线路工程设计总论</b> .....	35
2.1 概述 .....	35
2.2 通信传输线路设计内容、步骤.....	39
2.2.1 概述.....	39
2.2.2 设计的主要内容和要求.....	41
2.3 通信传输线路勘察内容、步骤.....	43
2.4 工程可行性研究报告和工程方案查勘 .....	49
2.5 工程测量方法和测量仪表的使用 .....	50
2.6 工程勘察设计管理 .....	60
2.7 通信线路优化理论与可靠性设计 .....	63
2.7.1 通信线路网拓扑结构优化.....	63
2.7.2 线路网络部件的可靠性.....	75
<b>第 3 章 通信建设工程概、预算的编制</b> .....	80
3.1 编制概、预算的原则、作用及编制依据 .....	80

3.2	概、预算费用组成	82
3.2.1	建筑安装工程费	83
3.2.2	设备、工器具购置费	90
3.2.3	工程建设其他费	90
3.2.4	预备费和施工项目承包费	93
3.3	通信概、预算文件的编制	93
3.4	工程勘察设计收费标准	97
3.4.1	概述	97
3.4.2	通信线路工程勘察、设计收费标准的计费方法	99
<b>第4章</b>	<b>通信管道工程设计基础</b>	<b>102</b>
4.1	路由勘察	102
4.2	通信管道地基加固	108
4.3	通信管道基础的建筑	109
4.4	通信管道的建筑	112
4.4.1	管道容量的估算	113
4.4.2	管材的选用	113
4.4.3	塑料管材的选用及建筑	114
4.4.4	水泥管通信管道的建筑	117
4.4.5	钢管通信管道的建筑	118
4.5	人孔、手孔和通道的建筑	119
4.5.1	人孔的种类、型式及使用	119
4.5.2	通信管道顶管侧人井(孔)建筑	121
4.5.3	通道建筑	123
4.6	通信管道的平面设计	126
4.7	通信管道的剖面设计	129
4.7.1	概述	129
4.7.2	通信管道的坡度	131
4.7.3	通信管道与其他地下管线交越的处理	132
4.8	常规管道线缆敷设技术	137
4.9	通信管道的联建、统建共用	142
<b>第5章</b>	<b>通信管道工程设计实例</b>	<b>147</b>
5.1	通信管道工程量的统计方法	147
5.2	通信管道设计实例	152
5.3	通信管道光缆设计实例	155
<b>第6章</b>	<b>通信光缆配盘与直埋光缆线路工程设计基础</b>	<b>168</b>
6.1	光缆配盘	168

6.2	直埋光缆敷设要求及标志设置	172
6.3	直埋光缆引出措施	175
6.4	直埋光缆线路的防护	176
6.4.1	直埋光缆防机械损伤保护	176
6.4.2	直埋光缆接头盒的浸水防治	180
6.4.3	直埋光缆的防雷和防强电	181
6.4.4	直埋光缆的防腐蚀和防鼠、防虫	185
6.4.5	直埋光缆的防洪	189
6.4.6	接地	193
<b>第7章</b>	<b>直埋光缆线路工程设计实例</b>	<b>203</b>
7.1	通信直埋光缆线路工程量的统计方法	203
7.2	直埋光缆线路设计实例	206
<b>第8章</b>	<b>架空光缆线路工程设计基础</b>	<b>231</b>
8.1	架空光缆线路工程设计的一般要求	231
8.2	架空光缆路由的杆路建筑	233
8.3	架空光缆敷设技术	242
<b>第9章</b>	<b>架空光缆线路工程设计实例</b>	<b>250</b>
9.1	通信架空线路工程量统计方法	250
9.2	架空光缆线路设计实例	251
<b>第10章</b>	<b>用户线缆线路工程设计基础</b>	<b>267</b>
10.1	用户电缆线路传输设计	267
10.1.1	市(农)话线路网的构成	267
10.1.2	电缆线路传输设计的基本标准	268
10.1.3	用户电缆线路环路设计的基本方法	269
10.2	用户电缆配线方式及选择	271
10.2.1	交接区、配线区和电缆容量的有关规定	271
10.2.2	用户电缆配线方式及选择	274
10.3	架空电缆安装工程设计	281
10.3.1	架空电缆在建设安装上的一般要求	281
10.3.2	架空电缆分线设备的安装设计	281
10.3.3	架空电缆接地保护	284
10.4	墙壁电缆安装工程设计	285
10.4.1	概述	286
10.4.2	墙壁电缆敷设安装方法	286



10.4.3	墙壁电缆分线设备的安装设计	290
10.4.4	墙壁电缆的保护措施	291
10.5	电缆进线室安装设计	293
10.6	光缆交接箱及进线室安装设计	294
10.6.1	光缆交接箱与容量设计	294
10.6.2	光缆进线室列架设计	298
<b>第 11 章</b>	<b>用户电缆线路工程设计实例</b>	<b>300</b>
11.1	用户电缆线路工程量统计方法	300
11.2	用户电缆线路设计实例	301
<b>第 12 章</b>	<b>智能大厦综合布线系统工程设计基础</b>	<b>318</b>
12.1	综合布线系统构成	320
12.2	综合布线系统传输设计	325
12.3	综合布线系统的工程设计	328
12.3.1	建筑物综合布线系统的设计等级	329
12.3.2	综合布线各子系统的设计	330
12.4	综合布线系统的价值工程评估	343
12.4.1	概述	343
12.4.2	VE 对象的选择和信息资料收集	349
12.4.3	功能分析	351
12.4.4	方案的创造及评价	356
<b>第 13 章</b>	<b>综合布线系统工程设计实例</b>	<b>360</b>
13.1	综合布线系统工程量和非定额器材统计方法	360
13.1.1	综合布线系统工程量统计方法	360
13.1.2	综合布线系统非定额器材统计方法	362
13.2	综合布线系统设计实例	365
<b>附录</b>	<b>通信管道、线路工程设计常用图形符号</b>	<b>393</b>
<b>参考文献</b>		<b>416</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介质,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。

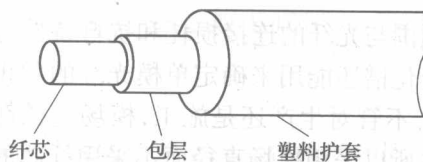


图 1.1 光纤的结构

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机械和传输性能。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会对光纤的不同性能产生影响。

#### 1. 光纤的几何参数

按照 ITU-T(国际电信联盟)及 IEC(国际电工委员会)的推荐,多模光纤(具有多个模式传播的光纤)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、纤芯与包层同心度误差等;单模光纤(只有一个模式传播的光纤)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机械性能有影响外,对光纤的接续损耗也会产生较大的影响。

#### 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收光的能力,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、光缆的用户设计和应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。

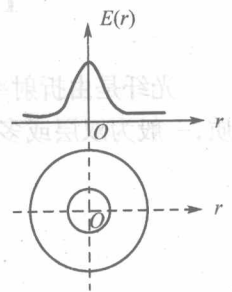


图 1.2 基模近场功率分布图

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 渐变型多模光纤(GIF)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	$20 \pm 0.02$	$0.275 \pm 0.015$

表 1.2 单模光纤(SMF)结构参数实例(G.652 光纤)

结构参数	技术指标
模场直径	$(9 \sim 10)\mu\text{m} \pm 10\%$ ( $\lambda = 1.3\mu\text{m}$ )
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 $\lambda_{cc}$ 22 米光缆截止波长	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  $LP_{11}$ : Linearly polarized (Lp) mode 线偏振模,下标 11 为波形编号,表示沿半圆周数得的光斑个数为 1 和沿半径数得的光斑个数也为 1。

## 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,这种减少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,可表示为

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

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,即

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

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

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种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。

### 1.1.3 光纤工作波长

确定波长定义的基础首先是光电器件,即系统的光发送器件、光接收器件和光放大器件的工作特性,这些器件的工作特性又取决于该器件所使用的材料。其相应的器件的工作波长如表 1.3 所列。从表 1.3 中可以看出,光发送器件采用镓铝砷材料时的工作波长可以覆盖整个多模短波长的范围,光发送器件采用铟镓砷磷材料时的工作波长可以覆盖整个单、多模波长的范围。

表 1.3 不同光器件、材料的工作波长

	器件、材料类别	工作波长/nm		器件、材料类别	工作波长/nm
光发送材料	GaAlAs	700~1000	光放大材料	EDFA	1545 附近
	InGaAsP	1000~1700		PEDFA	1305 附近
光接收材料	Si	650~950		Ye/Yt/Tu+ EDFA	1440~1650
	GaAsP	950~1150		SOA	1300~1600
	Ge	1100~1500		RFA	1300~1600
	InGaAs	1000~1700			

对光纤来说,其低衰减特性的范围正好落在与器件工作波长的范围之内。特别是近年以来,随着光纤工艺水平的不断提高,把原来光纤谱衰减特性中的 1383nm 附近的水吸收峰消除了(如 G.652 光纤,见后文),使光纤的低衰减特性窗口可以从 1260nm 一直延伸到 1700nm 左右。

考虑到器件和光纤的特性(包括色散特性)以及种种历史原因,可以把单模光纤的工作波长确定为 1260nm~1675nm。进一步可以把单模光纤的工作波长划分为 6 个工作波段,如表 1.4 所列。

表 1.4 单模光纤的应用波长窗口

波段代号	波段名称	波长范围/nm	波段代号	波段名称	波长范围/nm
O	初始波段	1260~1360	C	常规波段	1530~1565
E	扩展波段	1360~1460	L	长波长波段	1565~1625
S	短波长波段	1460~1530	U	超长波长波段	1625~1675

(1) 1260nm~1360nm 为初始波段,是一开始应用单模光纤时就利用的波段,它的波段下限主要由单模光纤的截止波长 1260nm 决定,上限由色散的最坏值和衰减的情况共同确定,典型情况下,1260nm 的色散为  $-6.42\text{ps}/\text{nm}\cdot\text{km}$ ,如果考虑出现色散  $+6.42\text{ps}/\text{nm}\cdot\text{km}$  的波长是 1375nm,而水吸收峰在 1383nm,所以 1375nm 就比较大,退回一点,选择 1360nm 作为上限。

(2) 1360nm~1460nm 为扩展波段,是在消除了水吸收峰后在初始波段上扩展出来的一个波段。其波段上限是因为在大的水吸收峰消除后,在 1460nm 附近还有一个小的水吸收峰的影响,因此就把上限临时定在 1460nm。

(3) 1460nm~1530nm 为短波长波段,其上限为通常所用的 1550nm 窗口的起始波长 1530nm,又因为它在 1530nm 的短波长方向,所以称为短波长波段。这个波长通常不用做信号传送通道,而安排作为特殊应用,如 EDFA(掺饵光纤放大器)和部分拉曼放大器的泵浦源工作波段,有些特殊波长预留作为 OSC 光监控信道。

(4) 1530nm~1565nm 为常规波段,目前实用的单通道光纤通信系统和 DMDW(密集波分复用)系统大都工作在这个波段。采用 G.652 光纤的短途系统应用的工作波长范围是 1430nm~1580nm,采用 G.652、G.653、G.654 光纤的长途系统应用的工作波长范围是 1480nm~1580nm,主要基于光纤的衰减特性限制和特殊情况应用时的色散受限。特别是 EDFA 可以在这个波段呈现宽又平坦的增益特性,所以在 G.655 光纤上应用的范围为 1530nm~1565nm。

(5) 1565nm~1625nm 为长波长波段,对于比 1565nm 更长的波段,从目前的光纤特性,特



别是对较适宜的温度特性而言,都是到 1625nm 的位置较好。

(6) 1525nm~1675nm 为超长波长波段,这个波段主要给维护阶段使用。在诸如预防性的、安装后的、割接前的、故障后的维护工作中,涉及到用 OTDR(光时域反射仪)进行监测、光纤识别、损耗测试、光功率监视等时,均使用该波段。

在实际应用中,有的应用可以跨越波段。例如,在 DWDM 系统中,有许多波长数较大的系统就工作在 C+L 波段。

除单模光纤外,对多模光纤的波段也进行了研究。对不同的应用,波长范围的划分也是不同的,如表 1.5 所列。多模光纤不是截止波长确定的,而主要由应用窗口确定。目前,对多模光纤的分类还在研究中,有人提议为 770nm~910nm 的范围。表 1.5 为多模光纤应用波长窗口。

表 1.5 多模光纤的应用波长窗口

应用	850nm 窗口	1310nm 窗口
IEEE 串行总线	830nm~860nm	
光纤通道	770nm~860nm	单模
10Base-F, FB, FL, FP	800nm~910nm	
100Base-FX, FDDI		1270nm~1380nm
1000Base-SX	770nm~860nm	
1000Base-LX		1270nm~1355nm
HIPPI	830nm~860nm	1260nm~1360nm

### 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:一种是受激布里渊散射,另一种是受激拉曼散射。

(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其阈值时,SBS 将把一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 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

的放大和高频信道的衰减。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。可通过选用低色散或零色散的光纤来减小,SPM对系统性能的影响。

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)是一个脉冲对其他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则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:一方面是可利用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;另一方面是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下面三种:

① 利用适当的不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、磨损、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,保证剩下光纤的机械可靠性),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,如表 1.6 所列。

表 1.6 多模、单模光纤规定的温度(损耗)特性

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

### 1.1.4 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。

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。多模光纤的分类如表 1.7 所列,单模光纤的参数特性如表 1.8 所列。

表 1.7 多模光纤的分类表

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	同上	准阶跃折射率光纤	$3 \leq g < 10$
A2.2	同上	阶跃折射率光纤	$10 \leq g < \infty$
A3	同上	阶跃折射率光纤	$10 \leq g < \infty$
A4		塑料光纤	

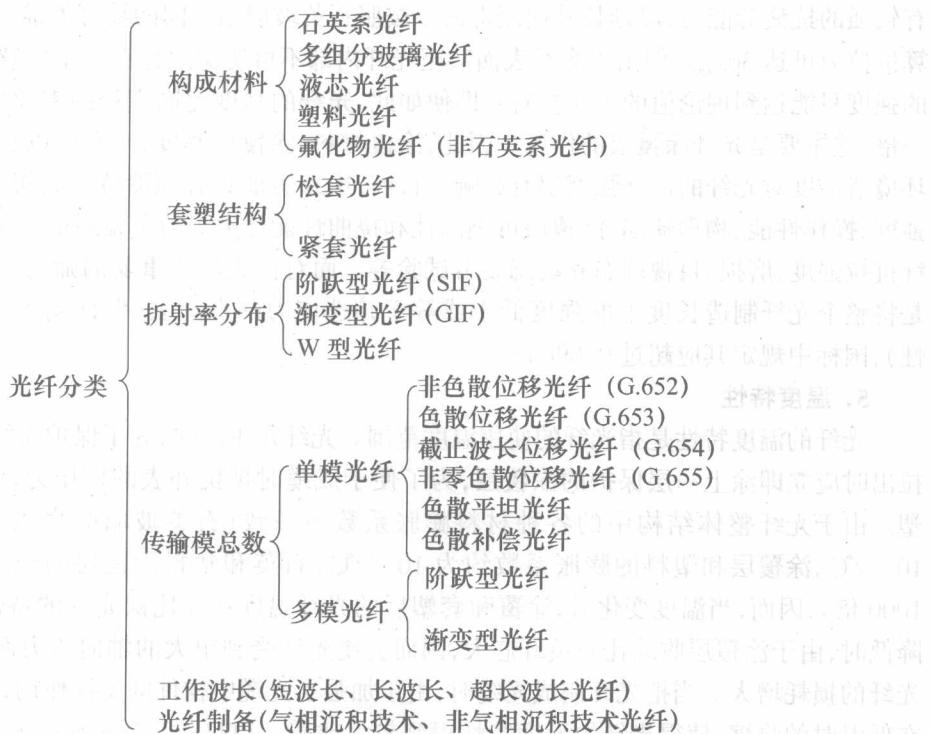


图 1.3 光纤的分类

表 1.8 单模光纤的参数特性

类别	光纤种类	性能	模场直径 / $\mu\text{m}$	截止波长 /nm	零色散波长 /nm	工作波长 /nm	衰减系数 / (dB/km)		色散系数 / (ps/nm $\cdot$ 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	色散平坦单模光纤		1310nm/8 1510nm/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

### 1.1.5 光纤类型选用

根据传输模式不同,光纤可以分为单模光纤、多模光纤,下面主要就不同种类的单模光纤