

# 光纤通信工程与工程管理

尹树华 张引发 等编著

人民邮电出版社

## 图书在版编目 (CIP) 数据

光纤通信工程与工程管理/尹树华,张引发等编著. —北京:人民邮电出版社,2005.2  
ISBN 7-115-12992-4

. 光... . 尹... 张... . 光纤通信—通信工程 . TN929.11

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 008380 号

### 内 容 提 要

本书在简要介绍光缆和 SDH 网络技术的基础上,重点阐述了光纤通信工程设计、工程施工、设备安装、工程建设的管理与控制等内容。具体包括:光缆的特性与选型;光纤通信工程建设与设计;光缆线路工程施工技术与方法;SDH 技术与组网;设备硬件安装技术与方法;光缆线路工程与设备安装验收;光纤接入网与综合布线系统;工程建设的质量管理与控制;工程建设的投资管理与进度控制。

本书结构独特,内容新颖,覆盖面广,实用性强。适用于:从事光纤通信工程规划设计、维护管理的工程技术人员;通信工程施工技术、组织及管理人员;通信院校相关专业的师生。

### 光纤通信工程与工程管理

---

◆ 编 著 尹树华 张引发 等  
责任编辑 杨 凌

◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号  
邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn  
网址 <http://www.ptpress.com.cn>  
读者热线 010-67129258

北京密云春雷印刷厂印刷  
新华书店总店北京发行所经销

◆ 开本:787×1092 1/16  
印张:17.75  
字数:440千字 2005年2月第1版  
印数:1-4500册 2005年2月北京第1次印刷

ISBN 7-115-12992-4/TN · 2410

---

定价:34.00元

本书如有印装质量问题,请与本社联系 电话:(010)67129223

# 目 录

第1章 光缆	1
1.1 光纤的结构与分类	1
1.1.1 光纤的结构	1
1.1.2 光纤的分类	2
1.2 光纤的衰减与色散	7
1.2.1 光纤的衰减	7
1.2.2 光纤的色散	8
1.3 光缆的结构与材料	9
1.3.1 光缆的基本结构	9
1.3.2 光缆的其他结构	13
1.3.3 光缆的端别	14
1.4 光缆的机械与环境特性	14
1.4.1 光缆的机械特性	15
1.4.2 光缆的环境特性	16
1.5 光缆的分类与选择	17
1.5.1 光缆的分类	17
1.5.2 光缆的型号	18
1.5.3 光缆的选择要点	20
复习思考题	21
第2章 光纤通信工程设计	22
2.1 光纤通信工程建设程序	22
2.1.1 基本规划	22
2.1.2 组织设计	23
2.1.3 建设准备	23
2.1.4 工程施工	23
2.1.5 竣工投产	24
2.2 通信工程设计的主要内容	24
2.2.1 设计的基本原则	24
2.2.2 设计的主要内容	24
2.3 光纤通信系统设计	25
2.3.1 光纤传输系统设计的一般要求	25
2.3.2 光纤传输系统设计的基本参数	25
2.3.3 传输设计	27

2.4	设备安装设计	30
2.4.1	机房及机房的平面布局	30
2.4.2	设备的选型及配置	30
2.4.3	可靠性设计	30
2.4.4	网管系统的设计	31
2.4.5	供电系统的设计	31
2.4.6	机房配套设施的设计	31
2.5	光缆线路设计	32
2.5.1	光缆线路的路由选择	32
2.5.2	光缆的选择	33
2.5.3	光缆的敷设方式及要求	34
2.5.4	光缆的接续及预留	38
2.5.5	光缆线路的防护	39
2.6	工程设计勘察	39
2.6.1	勘察与测量的目的	39
2.6.2	设计勘察步骤	40
2.6.3	施工图测量	41
2.7	设计文件的编制	42
2.7.1	设计文件的主要内容	42
2.7.2	概/预算的编制	42
2.8	应用 CAD 技术进行工程设计	44
2.8.1	绘制工程图纸	44
2.8.2	编制概/预算	45
2.8.3	概/预算软件的使用要点	45
	复习思考题	46
第 3 章	光缆线路工程施工	47
3.1	光缆线路施工特点和路由复测	47
3.1.1	光缆线路施工特点	47
3.1.2	光缆线路路由复测	48
3.2	光缆的单盘检验	51
3.2.1	单盘检验的基本要求	52
3.2.2	单盘检验的基本内容	52
3.2.3	基本准备工作	52
3.2.4	单盘光缆检验操作	53
3.3	光缆配盘	54
3.3.1	光缆配盘应遵循的原则	54
3.3.2	光缆配盘的方法	54
3.4	光缆线路敷设	56
3.4.1	直埋敷设	57
3.4.2	架空敷设	61

3.4.3	管道光缆敷设	64
3.4.4	硅芯管光缆的敷设	67
3.4.5	水底光缆的敷设	70
3.4.6	光纤架空地线复合缆的敷设	73
3.5	光缆接续	76
3.5.1	光缆接续安装的基本要求	76
3.5.2	光缆接续的特点	78
3.5.3	光缆的接续	78
3.6	光缆进局与成端安装	80
3.6.1	进局光缆的敷设	81
3.6.2	光缆的成端	82
	复习思考题	83
第4章	SDH 网络技术	85
4.1	SDH 帧结构与开销	85
4.1.1	SDH 的主要特点	85
4.1.2	SDH 帧结构	86
4.1.3	SDH 的开销	88
4.2	SDH 复用映射结构与指针调整	95
4.2.1	SDH 的映射复用结构	95
4.2.2	139.264Mbit/s 到 STM-1 的映射和复用过程	96
4.2.3	34.368Mbit/s 到 STM-1 的映射和复用过程	97
4.2.4	2.048Mbit/s 到 STM-1 的映射和复用过程	99
4.2.5	AUG 到 STM-N 的复用过程	101
4.2.6	SDH 指针调整	101
4.3	SDH 网元与应用	103
4.3.1	SDH 设备的逻辑功能描述	104
4.3.2	终端复用设备 (TM)	107
4.3.3	分插复用设备 (ADM)	108
4.3.4	数字交叉连接设备 (DXC)	108
4.3.5	再生器 (REG)	110
4.4	SDH 网络结构与保护	111
4.4.1	网络的基本物理拓扑	111
4.4.2	自愈网	112
	复习思考题	117
第5章	通信机房内设备安装	119
5.1	通信设备对机房建设的要求	119
5.1.1	通信机房总体布局	119
5.1.2	通信机房的建筑要求	120
5.1.3	通信机房的环境要求	120
5.1.4	通信设备的供电要求	121

5.1.5 通信设备的保护要求 .....	123
5.2 通信机房内传输设备安装 .....	124
5.2.1 SDH 整机结构 .....	124
5.2.2 SDH 设备安装工程准备 .....	127
5.2.3 SDH 设备硬件安装 .....	130
5.2.4 DWDM 设备硬件安装 .....	140
5.3 通信机房内数字程控交换设备安装 .....	148
5.3.1 交换机机柜结构 .....	148
5.3.2 机房内机柜放置 .....	149
5.3.3 机柜的安装 .....	149
5.3.4 线缆的安装 .....	152
复习思考题 .....	158
第 6 章 光纤通信工程验收 .....	159
6.1 光缆线路工程的验收 .....	159
6.1.1 随工验收 .....	159
6.1.2 初步验收 .....	160
6.1.3 竣工验收 .....	162
6.1.4 竣工技术文件 .....	163
6.2 设备安装工程验收 .....	163
6.2.1 设备安装的验收要求 .....	163
6.2.2 工程竣工资料 .....	164
复习思考题 .....	165
第 7 章 光纤接入系统 .....	166
7.1 光纤接入网概述 .....	166
7.1.1 接入网的概念 .....	166
7.1.2 接入网的功能结构 .....	168
7.1.3 光纤接入网的结构 .....	169
7.1.4 光纤接入网的应用选择 .....	171
7.2 无源光网络 .....	173
7.2.1 OLT 功能模块 .....	173
7.2.2 光分配网络 .....	173
7.2.3 ONU 功能模块 .....	175
7.2.4 PON 组网 .....	175
7.3 APON 接入系统 .....	177
7.3.1 APON 接入特点与技术指标 .....	177
7.3.2 APON 系统构成与工作原理 .....	179
7.3.3 APON 传输帧结构与接入技术 .....	182
7.4 以太网无源光网络 .....	185
7.4.1 EPON 系统构成与分层结构 .....	185
7.4.2 EPON 的技术优势与传输原理 .....	188

7.4.3 EPON 帧结构与光路设计	189
复习思考题	192
第 8 章 综合布线系统	193
8.1 综合布线系统概述	193
8.1.1 综合布线系统组成	193
8.1.2 综合布线系统的设计等级	195
8.1.3 综合布线系统应用分级及设计要点	195
8.1.4 综合布线系统标准	196
8.1.5 综合布线系统的设计流程	196
8.2 综合布线系统工程施工准备	197
8.2.1 施工环境条件和基本准备	198
8.2.2 设备、器材、仪表和工具的检验	199
8.3 综合布线系统设备安装	200
8.3.1 设备安装工程范围和基本要求	200
8.3.2 设备安装的具体要求	201
8.4 综合布线系统电缆敷设	202
8.4.1 综合布线系统电缆施工范围	202
8.4.2 建筑物主干布线子系统的电缆施工	202
8.4.3 水平布线子系统的电缆施工	204
8.4.4 缆线的终端和连接	206
8.5 综合布线系统的光缆敷设	207
8.5.1 光缆敷设应注意的问题	207
8.5.2 光缆施工的基本要求	208
8.5.3 光缆的敷设	208
8.5.4 光缆的接续和终端	210
8.5.5 综合布线系统的标识	212
复习思考题	212
第 9 章 通信工程建设的质量管理与控制	213
9.1 质量管理与控制的重要性	213
9.2 影响工程建设质量的因素	214
9.2.1 人员的素质	215
9.2.2 设备、材料和配(构)件的质量	216
9.2.3 工艺方法	216
9.2.4 施工条件	217
9.3 工程实施阶段中的质量管理与控制	217
9.3.1 勘察设计阶段的质量管理与控制	217
9.3.2 设备、材料的质量管理与控制	220
9.3.3 工程施工的质量管理与控制	221
9.3.4 工程质量的验收与交付使用	224
复习思考题	226

第 10 章 通信工程建设的进度控制 .....	227
10.1 通信工程建设进度控制概述 .....	227
10.1.1 进度控制的概念 .....	227
10.1.2 影响进度的因素 .....	227
10.1.3 进度控制的主要任务 .....	228
10.1.4 进度控制计划的表示 .....	229
10.2 通信工程设计阶段的进度控制 .....	230
10.2.1 设计总进度计划 .....	230
10.2.2 阶段性设计进度计划 .....	231
10.3 通信工程施工阶段的进度控制 .....	233
10.3.1 施工准备工作计划 .....	233
10.3.2 施工总进度计划 .....	234
10.3.3 单位工程施工进度计划 .....	234
复习思考题 .....	236
第 11 章 通信工程建设的投资管理与控制 .....	237
11.1 通信工程建设项目建设费用的构成 .....	237
11.1.1 直接工程费 .....	238
11.1.2 间接工程费 .....	240
11.1.3 计划利润 .....	241
11.1.4 税金 .....	241
11.1.5 设备、工器具购置费 .....	241
11.1.6 工程建设其他费用 .....	241
11.1.7 预备费 .....	242
11.2 通信工程建设投资的管理与控制 .....	243
11.2.1 通信工程项目投资的特点 .....	243
11.2.2 通信工程投资控制的基本原理 .....	243
11.3 通信工程投资的宏观管理 .....	244
11.3.1 通信工程投资管理的意义 .....	244
11.3.2 控制工程投资的重要环节 .....	245
11.3.3 宏观管理的重要手段 .....	246
11.3.4 宏观管理的重要保证 .....	246
11.4 通信工程投资的微观管理 .....	247
11.4.1 设计过程中的工程投资管理 .....	247
11.4.2 成本控制过程中的工程投资管理 .....	249
11.4.3 价款结算过程中的工程投资管理 .....	250
复习思考题 .....	250
附录 A 国家计量单位及电信传输单位 .....	251
附录 B 光缆通信工程施工验收表格 .....	254
附录 C 高速率 SDH 设备线缆连接关系 .....	268
参考文献 .....	272

# 前 言

光通信的发展正处于一个新的转折期,电信新业务层出不穷对光通信提出了许多新要求,也为光通信的良性发展创造了新的机遇。随着社会信息化建设进程的加快,通信业务已从话音、数据转向视频、多媒体等宽带业务。用户对业务种类多样性、业务服务灵活性、业务质量可靠性的要求,驱动着作为信息传送实体的干线光缆网、本地光缆网、城域光缆网和光接入网的构建需求上升。面对光纤通信工程建设高速度、高质量、高效益的挑战,工程管理水平亟待提高。

本书旨在跟踪新技术、新设备、新业务的变化,适应光纤通信工程建设的发展方向,适应市场经济发展的需要,适应懂工程、会管理复合型科技人才发展的需要,力图让广大读者理解和掌握光纤通信工程与工程管理的內容。

全书共分 11 章,內容概括为光纤通信工程设计、工程施工、设备安装、工程验收;SDH 传送网技术、光接入网、综合布线系统;工程建设的管理与控制。每一章均配有复习思考题供大家学习之用。

第 1 章介绍光纤的分类、衰减特性、色散特性,光缆的结构和分类、机械特性、环境特性,光缆的类型及应用选择;第 2 章介绍光纤通信工程的建设程序、设计原则、设计內容、系统设计、设备安装设计、光缆线路设计、工程设计勘测、编制设计文件及 CAD 设计应用;第 3 章介绍光缆线路施工特点、路由复测、检验单盘光缆、光缆的配盘、光缆线路敷设、光缆接续及光缆进局与成端安装;第 4 章介绍 SDH 帧结构与 SDH 的开销、SDH 复用映射结构、SDH 指针调整、SDH 网元与应用、SDH 网络结构与保护;第 5 章介绍设备对机房建设的要求、SDH 设备安装、DWDM 设备硬件安装、数字程控交换设备安装;第 6 章介绍光缆线路工程的验收、设备安装工程的验收;第 7 章介绍光纤接入网的概念、功能结构、应用选择, PON、APON 和 EPON;第 8 章介绍综合布线系统的组成、设计等级、设计要点、设备安装和线缆敷设;第 9 章介绍质量管理与控制的意義,影响工程建设质量的因素和质量管理与控制的实施;第 10 章介绍工程进度控制的概念、影响进度的因素、进度控制计划的表示、设计阶段及施工阶段的进度控制;第 11 章介绍项目建设费用的构成、工程建设投资的管理与控制、工程投资的宏观管理和工程投资的微观管理。

全书参考了 ITU-T 的一些相关标准,引入了光纤通信工程领域的一些研究成果,汲取了光纤通信工程实施的一些实践经验,收集了通信工程建设的一些科学管理素材。本书的主要特点是:在体系结构上,将光纤通信工程及施工与通信工程建设的组织及管理有机地融合起来,构成独特体系;在內容范围上,既有 SDH 传送网、光接入网、综合布线系统,又有光纤通信工程设计、光缆工程施工、设备安装、工程验收,还有通信工程建设项目的质量管理、投资管理、进度控制,形成了宽广的覆盖面;在工程实践上,结合编著者多年从事工程设计、施工、维护和通信工程项目的管理經驗,对光缆线路工程实地勘测、线路工程施工、设备硬件安装与工程施工项目的具体管理作了系统阐述,突出了工程实用性;在新內容的含量上,紧密结合光纤通信工程建设的发展方向,有工程设计、施工的新技术和新方法,也有作为建

设热点的光纤接入网和综合布线系统，体现出内容的新颖性。

本书编著者有尹树华、张引发、朱一宁、王宏科、李卫、王英杰、范振兴、杨文静等，全书由尹树华统稿并修改。编著者水平有限，书中错误之处在所难免，恳请读者批评指正。

作者

2004年12月于西安

# 第 1 章 光 缆

光缆是光纤通信系统的重要组成部分，是光信号传输的媒质，也是光纤通信网络传输性能稳定、可靠的基本保证。光缆由作为光信号传输主体的光纤、保护光纤不受外界环境影响的护层，以及为光缆提供抗拉强度的加强件组成。光纤的种类及特性决定光缆线路的传输容量和性能。光缆的结构类型决定光缆对外界机械和环境作用的适应程度。

## 1.1 光纤的结构与分类

### 1.1.1 光纤的结构

光纤是光导纤维 (Optical Fiber) 的简称，用于通信的光纤多为由石英 ( $\text{SiO}_2$ ) 玻璃制成的横截面很小的同轴圆柱体。光纤一般由纤芯、包层和涂覆层组成，其结构如图 1-1 所示。

纤芯位于光纤的中心，它的主要作用是传输光信号。多模光纤纤芯的标称直径为  $50\mu\text{m}$  或  $62.5\mu\text{m}$ ；单模光纤纤芯的模场直径一般为  $8\sim 10\mu\text{m}$ 。

包层环绕在纤芯外面，它的主要作用是将光信号封闭在纤芯中传输。光纤的导光原理决定了包层的折射率  $n_2$  一般小于纤芯的折射率  $n_1$ 。包层的直径通常为  $125\pm 3\mu\text{m}$ 。

涂覆层包括一次涂覆层 (预涂覆层) 和二次涂覆层，其主要作用是保护光纤不受外界作用和吸收诱发微应变力。真正的裸光纤 (由纤芯和包层组成的光纤) 机械性能差，特别是柔韧性很差。为使裸光纤能在实际中使用，在高温炉拉出的很短时间 (2s) 内对其进行涂覆，这就是一次涂覆层，一次涂覆层厚度为  $5\sim 40\text{nm}$ 。光纤的二次涂覆是光纤组合成缆的重要步骤，可根据光缆的不同用途选择不同的二次涂覆形式。光纤的二次涂覆结构主要有松套结构、紧套结构和带状结构，3 种结构各自有不同的特点。

将带有一次涂覆层的裸光纤放入一个较大的束管内，光纤可自由活动，束管为光纤的二次涂覆层，这是松套结构，如图 1-2 (a) 所示。该结构的光纤具有机械性能好、防水性好、便于成缆且不会引入附加损耗和可制成光纤束单元的特点，可在一个束管中放置多根 (一般为  $2\sim 12$  根) 裸光纤，但该结构的光纤制造较复杂。松套结构光纤目前被大量应用。在带有一次涂覆层的裸光纤外再紧密缠绕有缓冲层和二次涂覆层结构的光纤，这是紧套结构，如图 1-2 (b) 所示。该结构的光纤具有结构简单、使用方便的特点，但其物理特性 (主要是抗侧压力和温度特性) 差，常用于室内尾纤和部分特殊用途。

把多根带有一次涂覆层的裸纤排成一排，并用聚脂带包封，这是带状结构，如图 1-2 (c)

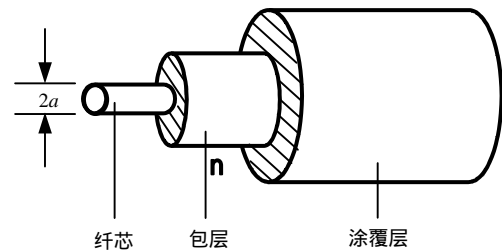


图 1-1 光纤结构图

所示。该结构光纤带状包封原理同于紧套结构，但它在成缆时置于较大的松套管之中，又具有松套结构的优点。一根光纤带可包封 4~12 根光纤，外面的聚脂带强度较弱，可根据使用要求将光纤带分开按单根光纤应用。带状光纤单缆容量大、操作简单，特别适用于市内用户集中的光纤用户，是目前光纤到路边（FTTC，Fibre To The Curb）的主要用缆。

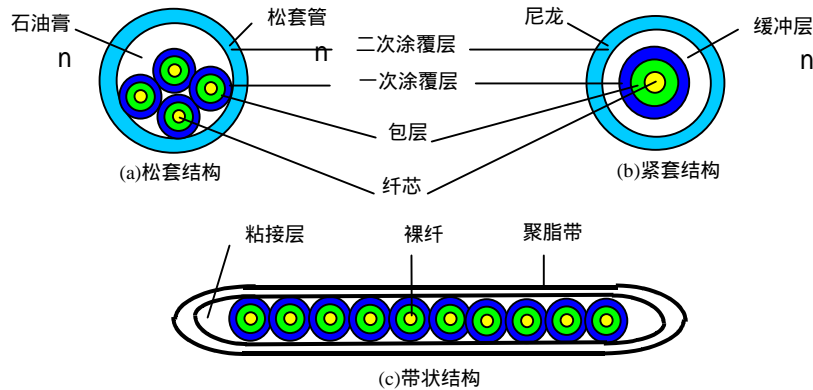


图 1-2 光纤的二次涂覆

### 1.1.2 光纤的分类

光纤的分类方法很多，既可以按照光纤截面上折射率分布来分类，又可以按照光纤中传输模式的数量、光纤使用的材料或传输的工作波长来分类。根据不同的分类方法，同一根光纤将会有不同的名称。在光缆线路工程中，光纤的分类有以下几种。

#### 1. 按光纤的材料分类

##### (1) 石英光纤

一般由掺杂石英芯和掺杂石英包层组成的光纤。这种光纤有很低的损耗和中等程度的色散，又分为阶跃折射率分布和渐变折射率分布两种。目前通信用光纤绝大多数是石英光纤。

##### (2) 全塑光纤

这是一种通信用新型光纤，尚在研制、试用阶段，其损耗较石英光纤大。全塑光纤具有纤芯直径大（施工方便）、数值孔径大（耦合容易）及制造成本低等特点，较适用于距离较短的场合，例如室内计算机联网、船舶、飞机内通信、全光纤化的最后一段（即入户光纤）等应用。

#### 2. 按光纤截面上折射率分布分类

按照截面上折射率分布的不同，可以将光纤分为阶跃型光纤（SIF，Step-Index Fiber）和

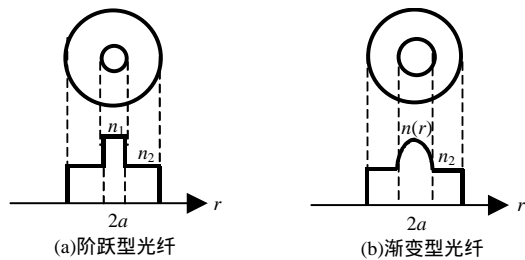


图 1-3 光纤的折射率分布

渐变型光纤（GIF，Graded-Index Fiber），其折射率分布如图 1-3 所示。阶跃型光纤中纤芯的折射率为常数  $n_1$ ，而在纤芯与包层的分界面处折射率突然变小，包层的折射率为  $n_2$ ，如图 1-3（a）所示。渐变型光纤纤芯的折射率连续变化，轴心处的折射率最大，然后随着  $r$  的增大逐渐减小，直到等于包层的折射率，如图 1-3（b）所示。

### 3. 按传输模式的数量分类

按光纤中传输的传导模数量，可以将光纤分为多模光纤（MMF，Multi-Mode Fiber）和单模光纤（SMF，Single Mode Fiber）。

在一定的工作波长上，当有多个传导模在光纤中传输时，则称这种光纤为多模光纤。多模光纤截面折射率的分布有均匀和非均匀两种，分别如图 1-4 (a) 和 1-4 (b) 所示，前者称为多模均匀光纤，即阶跃型多模光纤；后者称为多模非均匀光纤，即渐变型多模光纤。多模光纤的纤芯直径一般为  $50\mu\text{m}$ ，包层直径为  $125\mu\text{m}$ 。由于纤芯直径较大，传输模式较多，这种光纤的传输特性较差，带宽较窄，传输容量也较小。

单模光纤是只能传输一种传导模的光纤，单模光纤只能传输基模（最低阶模），不存在模间时延差，具有比多模光纤大得多的带宽，这对于高码速传输是非常重要的。单模光纤的折射率一般呈阶跃型分布，如图 1-4 (c) 所示。纤芯的模场直径一般为  $8\sim 10\mu\text{m}$ ，包层直径为  $125\mu\text{m}$ 。单模光纤的带宽一般在几十  $\text{GHz}\cdot\text{km}$  以上，比渐变型多模光纤的带宽高  $1\sim 2$  个数量级。

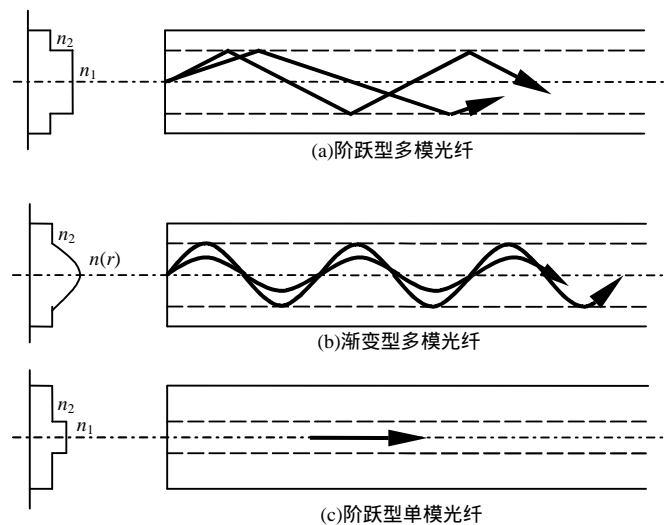


图 1-4 几种主要的光纤

单模光纤也不是绝对的，同一单模光纤在不同的应用波长也可判定为多模光纤。即判定光纤是否为单模光纤应以光纤的归一化频率值为准，当光纤的归一化频率（ $V$ ）大于归一化截止频率（ $V_c$ ）时，该光纤则为多模光纤；当  $V < V_c$  时，该光纤为单模光纤。归一化频率计算公式为：

$$V = \frac{2\pi}{\lambda} n_m a \sqrt{2\Delta} \quad (\text{其中 } V_c=2.405) \quad (1-1)$$

公式中， $V$  为光纤的归一化频率； $\lambda$  为光纤传输的光信号波长； $a$  为单模光纤的模场半径； $n_m$  为纤芯的最大折射率； $\Delta$  为光纤纤芯与包层的相对折射率差。

### 4. 按照 ITU-T 关于光纤的建议标准分类

按照 ITU-T 关于光纤的建议标准，可以将光纤分为 G.651 光纤（渐变型多模光纤）、G.652 光纤（普通单模光纤或  $1.31\mu\text{m}$  性能最佳单模光纤）、G.653 光纤（色散位移光纤）、G.654 光纤（ $1.55\mu\text{m}$  性能最佳单模光纤）、G.655 光纤（非零色散位移单模光纤）和色散补偿光纤。

为保证标准的先进性和安全性，根据技术发展和进步的要求，ITU-T 经常对各标准文件

做适当的修改和补充。

(1) G.651 光纤 (渐变型多模光纤)

渐变型多模光纤,一般工作在 1.31 $\mu\text{m}$  和 1.55 $\mu\text{m}$  两个波长,该光纤在 1.31 $\mu\text{m}$  处具有最小的色散值,而在 1.55 $\mu\text{m}$  处具有最小的衰减系数。

G.651 光纤按照纤芯/包层尺寸进一步可分为 A、B、C、D 4 种类型,它们的纤芯/包层/数值孔径分别为:

- G.651 A 型光纤: 50 $\mu\text{m}$ /125 $\mu\text{m}$ /0.2;
- G.651 B 型光纤: 62.5 $\mu\text{m}$ /125 $\mu\text{m}$ /0.275;
- G.651 C 型光纤: 85 $\mu\text{m}$ /125 $\mu\text{m}$ /0.275;
- G.651 D 型光纤: 100 $\mu\text{m}$ /140 $\mu\text{m}$ /0.316。

G.651 光纤被大量用于数据通信局域网中,其中应用较多的是 A 型和 B 型光纤,随着波分复用技术的应用,A 型光纤将得到更大发展。

(2) G.652 光纤 (常规单模光纤)

G.652 光纤也称为非零色散位移光纤,于 1983 年开始商用。这种光纤的非零色散波长位于 1.31 $\mu\text{m}$ ,在 1.55 $\mu\text{m}$  波长处衰减最小,但有较大的正色散,大约为+18ps/nm·km。G.652 光纤工作波长既可为 1.31 $\mu\text{m}$ ,又可为 1.55 $\mu\text{m}$ 。G.652 光纤通常被称为“标准单模光纤”或“1.31 $\mu\text{m}$  性能最佳单模光纤”。这种光纤是应用最为广泛的光纤,其在世界各地敷设数量已高达 7000 万千米之多,我国已敷设的光纤绝大多数是 G.652 光纤。根据 G.652 光纤的传输性能又可将 G.652 光纤分为 G.652 A、B、C、D 4 个子类。

G.652 A 光纤主要适用于 ITU-T G.957 规定的 SDH 传输系统和 G.691 规定的带光放大的高至 STM-16 的单通道 SDH 传输系统。

G.652 B 光纤主要适用于 ITU-T G.957 规定的 SDH 传输系统和 G.691 规定的带光放大的高至 STM-64 的单通道 SDH 传输系统以及直到 STM-64 的 ITU-T G.692 带光放大的波分复用传输系统。

G.652 C 光纤又称为低水峰光纤(全波光纤),其光纤损耗在 1310~1360nm 间趋于平坦,它比 G.652 B 光纤应用更为广泛,可复用的波长数大大增加,是未来城域网新设光纤的理想选择。

G.652 D 光纤是 2003 年 ITU-T 新规定的一种光纤,与 G.652 B 光纤属性类似,但可用于更宽范围的波长区域。

G.652 光纤广泛用于数据通信和模拟图像传输,其缺点是工作波长位于 1550nm 时色散系数高达 18ps/nm km 阻碍了高速率、长距离和多波长复用的应用。G.652 光纤在速率为 10Gbit/s 以上对光信号长途传输时,必须引入色散补偿光纤进行色散补偿,并需引入更多的掺铒光纤放大器来补偿由于引入色散补偿光纤所产生的损耗。G.652 光纤主要技术指标及成缆的主要技术指标,分别如表 1-1 和表 1-2 所示。

表 1-1 ITU-T G.652 光纤主要技术指标

参 数	G.652 A		G.652 B		G.652 C		G.652 D
	2000 版	2003 版	2000 版	2003 版	2000 版	2003 版	2003 版
1310nm 模场直径 ( $\mu\text{m}$ )	(8.6~9.5) $\pm$ 0.7						
包层直径 ( $\mu\text{m}$ )	125.0 $\pm$ 1						

续表

参 数	G.652 A		G.652 B		G.652 C		G.652 D
	2000 版	2003 版	2000 版	2003 版	2000 版	2003 版	2003 版
芯同心度误差 (μm)	0.8						
包层不圆度	2%						
光缆截止波长 (nm)	1260						
筛选应力 (GPa)	0.69						
宏弯损耗 (dB)	R37.5mm	R30mm	R37.5mm	R30mm	R37.5mm	R30mm	R30mm
	100 圈	100 圈	100 圈	100 圈	100 圈	100 圈	100 圈
	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
	1550nm	1550nm	1550nm	1550nm	1550nm	1550nm	1550nm
			16XXnm	1625nm	16XXnm	1625nm	1625nm
最小零色散波长 (nm)	1300						
最大零色散波长 (nm)	1324						
零色散波长最大斜率 $S_{\max}$ (ps/nm <sup>2</sup> ·km)	0.093						
未成缆光纤 PMD 系数 ps/√km	未规定	见注 3					

注 1：2000 版和 2003 版是指 ITU-T 在 2000 年和 2003 年 1 月颁布的光纤标准；

2：16XXnm 为 2000 版待定值，2003 版将波长明确定为 1625nm；

3：对于特定光缆结构设计，如果已经证明未成缆光纤最大 PMD 系数某一数值能够满足链路设计最大值 PMD<sub>Q</sub> 的要求，则光缆制造者可规定未成缆光纤的最大 PMD 系数值。

表 1-2 ITU-T G.652 光缆主要技术指标

参 数	G.652 A		G.652 B		G.652 C		G.652 D
	2000 版	2003 版	2000 版	2003 版	2000 版	2003 版	2003 版
1310nm 衰耗系数 最大值 (dB/km)	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4		
1550nm 衰耗系数 最大值 (dB/km)	0.4	0.4	0.35	0.35	0.35	0.3	0.3
1625nm 衰耗系数 最大值 (dB/km)		不要求		0.4		未规定	未规定
16XXnm 衰耗系数 最大值 (dB/km)	不要求		0.4		0.4		
1383±3nm 衰耗系数最大值 (dB/km)						注	注
1383 ~ 1625nm 衰耗系数最大值 (dB/km)					未规定	0.4	0.4
PMD 系数	光缆段数	20	20	20	20	20	20
	概率 $Q$		0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%
	链路设计最大值 ps/√km	未规定	0.5	0.5	0.2	0.5	0.5

注：在波长 1383±3nm 处抽验衰减平均值，应不大于按照 IEC 60793-2-50 规定的单模光纤经过氢气老化试验后在 1310nm 处的值。

### (3) G.653 光纤 (色散位移光纤)

G.653 光纤又称为色散位移光纤 (DSF, Dispersion Shifted Fiber), 它通过改变光纤的结构参数、折射率分布形状, 力求加大波导色散, 从而将最小零色散点从 1310nm 处位移到 1550nm 处, 实现在 1550nm 处有最低的衰减和零色散, 并且在掺铒光纤放大器工作波长区域内。这种光纤非常适合于长距离单信道高速光放大系统, 如可在这种光纤上直接开通 20Gbit/s 系统, 而不需要采取任何色散补偿措施。

G.653 光纤在掺铒光纤放大器 (EDFA, Erbium-Doped Fiber Amplifier) 通道进行波分复用信号传输时, 存在严重四波混频非线性效应。正基于此, G.653 光纤的市场很可能将由非零色散位移光纤 (G.655 光纤) 取代。

G.653 光纤的优点是在 1550nm 工作波长区衰减系数和色散系数均很小, 它主要用于单信道几千公里海底系统和长距离陆地通信干线, 其缺点是在 G.653 光纤上开通波分复用时存在四波混频非线性效应, 这阻碍了其在波分复用方面的应用。

### (4) G.654 光纤 (1550nm 性能最佳单模光纤)

G.654 光纤在波长为 1550nm 处具有极小的衰减 (0.18dB/km) 和较好的可绕性 (弯曲损耗小)。因为 G.654 光纤制造困难, 价格昂贵, 故很少使用。它们主要应用在传输距离很长, 且不能插入有源器件的无中继海底光纤通信系统中。

### (5) G.655 光纤 (非零色散位移单模光纤)

G.655 光纤又称为非零色散位移单模光纤 (NZDSF, Non Zero Dispersion Shifted Fiber), 是 1994 年专门为新一代光放大密集波分复用传输系统设计和制造的新型光纤。G.655 光纤在 1550nm 处色散值为 0.1 ~ 6.0ps/nm·km, 较好地平衡了四波混频引起的非线性, 能用于高速 (10Gbit/s 以上)、大容量、密集波分复用的长距离光纤通信系统中。G.655 光纤可进一步分为 G.655A、B、C 3 个子类。

G.655 A 光纤主要支持 ITU-T G.691、G.692、G.693 和 G.959.1 的应用。对于 G.692, 根据通道波长和规定的色散特性, 限制最大的总注入功率, 典型最小通道间隔不小于 200GHz。

G.655 B 光纤主要支持 ITU-T G.691、G.692、G.693 和 G.959.1 的应用。对于 G.692 应用的密集波分复用传输系统, 根据通道波长和规定的色散特性, 最大总注入功率比 G.655 A 光纤容许的高, 典型最小通道间隔不小于 100GHz。

G.655 C 光纤与 G.655 B 类似, 但对 PMD 的要求比 G.655 B 光纤更严, 允许 STM-64 系统传输距离比 400km 长得多, 支持 G.959.1 STM-256 的应用。

G.655 光纤的优点是在 1550nm 有较低的色散, 保证抑制四波混频等非线性效应, 能用于 EDFA 和波分复用结合的传输速率在 10Gbit/s 以上的高速系统中。

### (6) 色散补偿光纤 (DCF)

色散补偿光纤 (DCF, Dispersion Compensating Fiber) 就是用此光纤的负色散, 补偿常规光纤在传输光信号时所产生的正色散。它的基本原理是计算纤芯和包层的折射率分布, 利用光纤的波导色散效应, 使 1550nm 处色散总值为负值。负色散光纤又分为基于基模和高次模的负色散光纤。

基于基模的负色散光纤: 采用较小的光纤内径和适当的折射率进行设计, 以得到较大的光纤波导色散, 使光纤在 1550nm 处呈现较大的负色散。这种光纤的色散可达 -300ps/nm·km, 其品质因数 (色散与损耗的比值) 可达 300ps/nm·dB。

基于高次模的负色散光纤: 采用模式转换方式以得到较大的负色散, 这种光纤的色散可

达-600ps/nm·km，其品质因数仅为100ps/nm·dB，但该光纤对弯曲非常敏感。

DCF 光纤是无源器件，理论上可放于光纤线路的任何位置，但在实际使用中是有一定要求的，不同的位置可获得不同的效果。当 DCF 光纤置于发送端功放之后时，由于 DCF 光纤的模场直径很小，有效面积较小，相同的光功率会引起更严重的非线性效应，从而减缓了补偿作用；当 DCF 光纤置于发送端功放之前时，光脉冲在进入光纤传输时已受到 DCF 的补偿而有所压缩，同时 DCF 引起光衰减，压缩脉冲和高峰值功率会产生偏振模色散（PMD，Polarization Mode Dispersion），可导致灵敏度降低，因此该方法不适于输出功率在 10dB 以上的系统；当 DCF 光纤置于接收机侧时，系统性能较好，即使发送机输出较高功率，通道有极化模色散效应，但由于脉冲并未被压缩，PMD 影响也不大。

## 1.2 光纤的衰减与色散

### 1.2.1 光纤的衰减

衰减表明了光纤对光能的传输损耗。通常衰减用衰减系数（ $a$ ）衡量，定义为单位长度光纤引起的光功率衰减。当长度为  $L$  时，衰减系数  $a$  与波长  $\lambda$  的函数关系如下：

$$\alpha(\lambda) = (10/L) \lg P(0)/P(L) \quad \text{dB/km} \quad (1-2)$$

光纤衰减特性如图 1-5 所示，它形象直观地描绘了衰减系数与波长的函数关系，同时示出了光纤 5 个工作窗口的波长范围及引起衰减的原因。图中石英玻璃光纤的衰减谱具有 3 个主要特征：衰减随波长的增大而呈降低趋势；衰减吸收峰与  $\text{OH}^-$  离子有关；在波长大于 1600nm 时衰减增大是由微（或宏）观弯曲损耗和石英玻璃吸收损耗引起的。

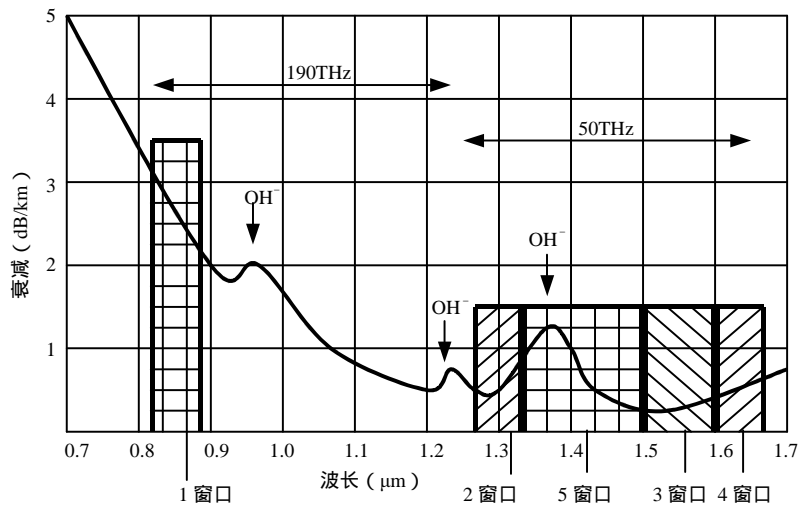


图 1-5 石英玻璃光纤的衰减

光纤通信是随着光纤损耗的不断降低而发展起来的。造成光纤损耗的原因很多，其中主要有吸收损耗、散射损耗和弯曲损耗。

吸收损耗由本征吸收、杂质吸收和原子缺陷吸收组成，主要是由制造光纤材料本身以及