

高等教育名校建设工程特色专业规划教材

SDH光传输技术与应用

■ 主 编 杜玉红 陈建兵
■ 副主编 刘 勇 李文革



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

高等教育名校建设工程特色专业规划教材

SDH 光传输技术与应用

主 编 杜玉红 陈建兵

副主编 刘 勇 李文革



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书以中兴通讯现网运行主流设备 ZXMP S320、ZXMP S330、ZXMP S385 为基础,以 SDH 光传输技术及应用的工作内容为主线,按照光传输网络的实际工作流程,由简单至复杂,由单一至综合的规律,进行项目与工作任务的設計。

主要包括 SDH 传输网的构建、传输网业务的配置、传输网保护的配置、传输网的运行维护 4 个项目,11 个工作任务。4 个项目的设计涵盖光传输网络从构建至开局、维护的工作流程,11 个工作任务紧紧围绕项目展开,贴合实际工程应用,有详细的操作步骤与操作方法。

本书可作为高职高专院校通信类专业的教材,也可供工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

SDH光传输技术与应用 / 杜玉红, 陈建兵主编. —
北京: 中国水利水电出版社, 2015. 11
高等教育名校建设工程特色专业规划教材
ISBN 978-7-5170-3729-3

I. ①S… II. ①杜… ②陈… III. ①光纤通信—同步
通信网—高等学校—教材 IV. ①TN929. 11

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第248467号

策划编辑: 石永峰 责任编辑: 张玉玲 加工编辑: 孙丹 封面设计: 李佳

书 名	高等教育名校建设工程特色专业规划教材 SDH 光传输技术与应用
作 者	主 编 杜玉红 陈建兵 副主编 刘 勇 李文革
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路 1 号 D 座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: mchannel@263.net (万水) sales@waterpub.com.cn
经 售	电话: (010) 68367658 (发行部)、82562819 (万水) 北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	北京万水电子信息有限公司
印 刷	三河市铭浩彩色印装有限公司
规 格	184mm×260mm 16 开本 13.5 印张 339 千字
版 次	2015 年 11 月第 1 版 2015 年 11 月第 1 次印刷
印 数	0001—2000 册
定 价	28.00 元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社发行部负责调换
版权所有·侵权必究

前 言

SDH 光传输设备是一种将复接、线路传输及交换功能融为一体,并由统一网管系统操作的综合信息传送网络。SDH 光传输设备可实现网络有效管理、实时业务监控、动态网络维护、不同厂商设备间的互通等多项功能,能大大提高网络资源利用率、降低管理及维护费用、实现灵活可靠和高效的网络运行与维护,因此是当今世界信息领域在传输技术方面的发展和应用的热点,受到人们的广泛重视。

由于以上所述的 SDH 的众多特性,使其在广域网领域和专用网领域得到了巨大的发展。电信、联通、广电等电信运营商都已经大规模建设了基于 SDH 的骨干光传输网络。利用大容量的 SDH 环路承载 IP 业务、ATM 业务,或直接以租用电路的方式出租给企、事业单位。而一些大型的专用网络也采用了 SDH 技术,架设系统内部的 SDH 光环路,以承载各种业务。比如电力系统,就利用 SDH 环路承载内部的数据、远控、视频、语音等业务。

综上所述,SDH 以其明显的优越性,已成为传输网发展的主流。SDH 技术与一些先进技术相结合,如光波分复用(WDM)、ATM 技术、Internet 技术(IP over SDH)等,使 SDH 网络的作用越来越大。

本书以中兴 ZXMP 系列光传输设备为载体,按照实际光传输设备的开局及维护工作流程组织教材编写,遵循“由易到难,由简单到复杂”的原则设计项目。

改变原有教材以章节为单位的组织形式,紧紧围绕完成工作任务,以光传输网络建设项目为载体,按照实际光传输网络的构建、调试、运行维护的工作流程中的工作任务,设计出 SDH 传输网的构建、传输网业务的配置、传输网保护的配置、传输网的运行维护 4 个项目。

每个项目下包括多个任务,共设计 11 个任务。通过多个任务,进行光传输网络管理与维护的训练,理实一体,学做一体,实现与企业生产、管理的无缝对接。

项目 1 为 SDH 光传输网的构建,设计两个学习任务:链形 SDH 网络的构建、环形 SDH 网络的构建。使读者:①熟悉 SDH 设备系统结构及其单板功能。能够根据网络业务需求,进行 SDH 网络的规划(各站点的网元连接)。②能够进行 SDH 设备的硬件配置。③能够根据工程具体业务需求,选择合适传输设备构建环+链混合网络。④能够根据各站之间的业务类型及业务数量,确定业务的数量。⑤能够熟练使用 E300 网络管理软件,配置各种功能、业务单板。

项目 2 为 SDH 光传输网业务的配置,设计 3 个工作任务:电路业务的配置、数据业务的配置、时钟和公务的配置。使读者:①能够使用网络管理软件进行电路业务配置。②能够利用网络管理软件检查电路业务配置是否正确。③能够进行以太网业务的二层透明传输的配置(基于中兴通信传输设备)④能够进行 VLAN(虚拟局域网的配置)。⑤能够使用网络管理软件进行电路业务时钟和公务配置。

项目 3 为传输网保护的配置,设计两个学习任务:通道保护的配置、复用段保护的配置。使读者:①能够根据网络的业务需求,合理选择 ZXSP S320/S385 单板类型和数量。②能够使用网管软件独立完成 SDH 的通道保护的配置。③能够根据网络业务需求,合理选择 ZXMP S320 单板类型和数量。④能够独立完成 SDH 环网的二纤双向复用段保护环的配置。⑤根据网络业

务的具体要求，合理选择保护类型并正确配置。

项目 4 为传输网的运行维护，设计 4 个学习任务：SDH 传输设备的开局配置、光传输设备的日常维护、传输网管的日常维护、传输网系统性能的管理。使读者：①能够初始化网元。②能够独立开通中兴通讯有限公司 ZXMP S330 光传输设备，并能举一反三。③能够根据岗位要求，独立完成 SDH 光传输设备的日常维护。④能够准确排查好快速处理光传输设备常见故障。能够建立网络管理用户。⑥能够对网元设备进行告警状态查询，分析告警产生的原因并排除告警。⑦能够设置并查询性能。⑧能够管理报表。

本书由杜玉红、陈建兵任主编并编写大纲，刘勇、李文革任副主编，许书君、韩梅、郭建勤、李莹参编。本书为校企合作教材，编写过程得到山东宇洋信息科技有限公司的大力支持。这里特别感谢陈建兵经理为本书编写提供的项目资料，同时对家人的温馨支持表示诚挚的谢意与感激。

由于作者水平有限及时间仓促，书中肯定有不足和疏漏之处，敬请广大读者和专家批评指正。

杜玉红
2015 年 8 月

目 录

前言	
项目 1 SDH 传输网的构建	1
任务 1.1 链型 SDH 网络的构建	1
1.1.1 相关知识：链型 SDH 网络的 知识与技能	2
1.1.2 任务实施：链型 SDH 网络的构建	24
课后自测	30
任务 1.2 环型 SDH 网络的构建	30
1.2.1 相关知识：环型 SDH 网络的 知识与技能	31
1.2.2 任务实施：环型 SDH 网络的构建	51
课后自测	56
项目 2 传输网业务的配置	58
任务 2.1 电路业务的配置	58
2.1.1 相关知识：电路业务的知识与技能	59
2.1.2 任务实施：电路业务的配置	68
课后自测	82
任务 2.2 数据业务配置	83
2.2.1 相关知识：数据业务的知识与技能	84
2.2.2 任务实施（一）：数据业务的 配置（中兴 S320）	96
2.2.3 任务实施（二）：数据业务的 配置（中兴 S330）	107
课后自测	112
任务 2.3 时钟和公务的配置	112
2.3.1 相关知识：时钟和公务的 知识与技能	113
2.3.2 任务实施：时钟和公务的配置	120
课后自测	125
项目 3 传输网保护的配置	127
任务 3.1 通道保护的配置	127
3.1.1 相关知识：通道保护的知 识与技能	128
3.1.2 任务实施：通道保护的配置	133
课后自测	139
任务 3.2 复用段保护的配置	140
3.2.1 相关知识：复用段保护的 知识与技能	141
3.2.2 任务实施：复用段保护的配置	147
课后自测	154
项目 4 传输网的运行维护	155
任务 4.1 SDH 传输设备的开局配置	155
4.1.1 知识准备：SDH 传输设备开局的 知识与技能	156
4.1.2 任务实施：SDH 传输设备的 开局设备	166
课后自测	171
任务 4.2 光传输设备的日常维护	172
4.2.1 相关知识：光传输设备日常维护的 知识与技能	173
4.2.2 任务实施：光传输设备的 日常维护	179
课后自测	182
任务 4.3 传输网管的日常维护	184
4.3.1 知识准备：传输网管日常维护的 知识与技能	185
4.3.2 任务实施：传输网管的日常维护	191
课后自测	196
任务 4 传输网络系统的管理	197
4.4.1 相关知识：传输网系统性能管理的 知识与技能	198
4.4.2 任务实施：传输网络系统性能 的管理	203
课后自测	207
参考文献	208

项目 1 SDH 传输网的构建

本项目以深圳中兴通讯股份有限公司 ZXMP 系列光传输的设备为载体, 由易到难设计出“链型 SDH 网络的构建”、“环形 SDH 网络的构建”两个任务。通过本项目, 训练学生掌握传输设备的分类、SDH 设备在通信网中的位置以及传输承载的主要业务类型等知识, 使学生能够根据工程的具体业务需求, 独立完成传输网络的硬件配置, 会利用网管软件进行设备的互联及单板的选取, 以获得光传输网构建的基本技能。

任务 1.1 链型 SDH 网络的构建

任务介绍

某运营商在某地区进行电信业务覆盖时, 需在公路沿线的 A、B、C 和 D 四个村镇建立光纤传输网络, 如图 1-1-1 所示。



图 1-1-1 SDH 传输网络的构建

业务说明如下:

- (1) A 镇为主站, B、C、D 村为远端站(其业务均到 A 站汇接), 采用中兴通讯 ZXMP S320 设备(属于 SDH 光纤传输设备), 传输速率为 155Mb/s。
- (2) A 站与 B 站有 5 条 E1 业务。
- (3) A 站与 C 站有 5 条 E1 业务。
- (4) A 站与 D 站有 5 条 E1 业务。

教学目标

知识教学目标

- (1) 了解光传输网络在通信网中的位置。
- (2) 掌握 PDH、SDH、WDM 和 ASON 的概念。
- (3) 掌握 SDH 传输网的线路组成及其网络结构。
- (4) 熟悉 SDH 设备系统结构及其单板功能。

技能培训目标

- (1) 能够根据网络业务需求, 进行 SDH 网络的规划(各站点的网元连接)。
- (2) 能够进行 SDH 设备的硬件配置。

实施环境

- (1) 多媒体教室。
- (2) 装有网络管理软件 ZXONM E300 的计算机 40 台。

- (3) ZXMP320 多业务传输设备。
- (4) 5m 尾纤、E1 电缆、网线、电源线若干。

1.1.1 相关知识：链型 SDH 网络的知识与技能

1.1.1.1 光纤通信概述

1. 光纤通信系统组成

光纤通信是利用光波作载波，以光纤作为传输媒质，将信息从一处传至另一处的通信方式。

光纤通信系统主要由光发送设备、光接收设备和光传输设备组成。

(1) 光发送设备的主要作用是把电端机输入的电信号对光进行调制，使光源产生与电信号对应的光信号送入光纤。

(2) 光接收设备的主要作用是将通过光纤传送来的光信号转换为相应的电信号，经放大后进入电端机。

(3) 光传输设备由光缆和中继器组成，它们是光信号传输的通道。而传统的光—电—光中继器又由光检测器、电信号放大器、判决再生电路、驱动器和光源组成，其作用是将光信号转换成电信号，经过放大和再生，然后再转换成光信号送入下一段光纤中。

2. 光纤通信系统的特点

在光纤通信系统中，作为载波的光波频率比电波频率高得多，而作为传输介质的光纤又比同轴电缆或波导管的损耗低得多，因此相对于电缆通信或微波通信，光纤通信具有许多独特的优点。

- (1) 容许频带很宽，传输容量很大。
- (2) 损耗很小，中继距离很长且误码率很小。
- (3) 重量轻、体积小。
- (4) 抗电磁干扰性能好。
- (5) 泄漏小，保密性能好。

总之，光纤通信不仅在技术上具有很大的优越性，而且在经济上具有巨大的竞争能力，因此其在信息社会中将发挥越来越重要的作用。

3. 当前光线通信的发展现状

目前，光线通信中最常采用的调制方式是直接强度调制，光线通信的三个低损耗窗口依次为 850nm、1310nm 和 1550nm。光线通信系统早已完成 PDH 向 SDH 的过渡，传输速率进一步提高，SDH+DWDM 已成为提高光线通信系统传输速率和实现“光线到户”的主要方式。

1.1.1.2 光传输网络在通信网中的地位及作用

光传输网络在通信网中用于信息的“搬运”。图 1-1-2 表示光线传输设备在有线电话网中的作用。

光纤可以传输数字信号，也可以传输模拟信号。光纤在通信网、广播电视网、计算机网及其他数据传输系统中，都得到了广泛应用。光纤宽带干线传送网和接入网发展迅速，是当前研究开发应用的主要目标。光纤通信的各种应用可概括如下：

通信网，包括全球通信网（如横跨大西洋和太平洋的海底光缆和跨越欧亚大陆的洲际光缆干线）、各国的公共电信网（如我国的国家一级干线、各省二级干线和县以下的支线）、各种专用通信网（如电力、国防等部门通信、指挥、调度、监控的光缆系统）、特殊通信手段（如

石油、化工、煤矿等部门易燃易爆环境下使用的光缆)、构成因特网的计算机局域网和广域网,如光纤以太网、路由器之间的光纤高速传输链路。

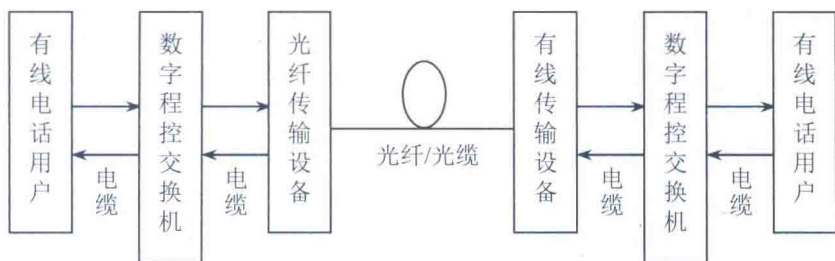


图 1-1-2 光纤传输设备在有线电话网中的作用

有线电视网的干线和分配网;工业电视系统,如工厂、银行、商场、交通和公安部门的监控;自动控制系统的数据传输。

综合业务光纤接入网,分为有源接入网和无源接入网,可实现电话、数据、视频(会议电视、可视电话等)及多媒体业务综合接入核心网,提供各种各样的社区服务以及飞机、军舰、潜艇、导弹和宇宙飞船内部的光缆系统)。

1.1.1.3 PDH、SDH、WDM 和 ASON 简介

1. PDH

在进行复接时,如果传输设备的各支路码位不同步,在复接前必须调整各支路码速,使之严格相等,这样的复接系列称为准同步数字复接系列(PDH)。

国际上主要有两大 PDH 复接系列,即日本和北美国家的 PCM 基群 24 路/1.5M 系列,中国和西欧国家的 PCM 基群 30/32/2M 系列。

我国 PDH 复接系列的常见速率等级如下:

- (1) 基群(一次群)。30 个中继话路,速率为 2.048Mb/s,约为 2Mb/s。
- (2) 二次群。120 个中继话路,速率为 8.448Mb/s,约为 8Mb/s。
- (3) 三次群。480 个中继话路,速率为 34.368Mb/s,约为 34Mb/s。
- (4) 四次群。1920 个中继话路,速率为 139.264Mb/s,约为 140Mb/s。

2. SDH

在进行复接时,若传输设备的各支路码位是同步的,只需将各支路码元直接在时间上压缩、移相后进行复接就行了,这样的复接系列称为同步数字复接系列,即 SDH。

我国 SDH 复接系列的常见速率等级如下:

- (1) 同步传送模块一(STM-1,基本模块)。1920 个中继话路,速率为 155.520Mb/s。
- (2) 同步传送模块四(STM-4)。7680 个中继话路,速率为 622.080Mb/s。
- (3) 同步传送模块十六(STM-16)。30720 个中继话路,速率为 2488.320Mb/s,约为 2.5Gb/s。
- (4) 同步传送模块六十四(STM-64)。122880 个中继话路,速率为 9953.280Mb/s,约为 10Gb/s。

3. WDM

WDM(Wavelength Division Multiplexing,波分复用)是指在一根光纤上承载多个波长(信道)系统,将一根光纤转换为多条“虚拟”纤,每条虚拟纤独立工作在不同波长上。由于具有较好的经济性与有效性,WDM 技术已成为当前光纤通信网络中使用最广泛的技术。

WDM 通常有三种复用方式,即 1310nm 和 1550nm 波长的波分复用,密集波分复用(DWDM)和粗波分复用(CWDM)。

(1) 1310nm 和 1550nm 波长的波分复用

这种复用技术在 20 世纪 70 年代初仅用两个波长,即 1310nm 窗口一个波长和 1550nm 窗口一个波长,利用 WDM 技术实现单纤双窗口传输,这是最初的波分复用技术的使用情况。

(2) DWDM 技术

DWDM 就是所谓密集波分复用(Dense Wavelength Division Multiplexing)技术,利用激光的波长,按照比特位并行传输或者字符串行传输方式在光纤内传送数据。简单地说,DWDM 技术是指相邻波长间隔较小的 WDM 技术,工作波长位于 1550nm 窗口。可以在一根光纤上承载 8~160 个波长,主要应用于长距离传输系统。

(3) CWDM 技术

CWDM 技术即稀疏波分复用,顾名思义,是密集波分复用的近亲,它们的区别主要有两点:①CWDM 载波通道间距较宽,因此,同一根光纤上只能复用 5 到 6 个左右波长的光波,“稀疏”与“密集”称谓的差别就由此而来;②CWDM 调制激光采用非冷却激光,而 DWDM 采用的是冷却激光。冷却激光采用温度调谐,非冷却激光采用电子调谐。由于在一个很宽的波长区段内温度分布很不均匀,因此温度调谐实现起来难度很大,成本也很高。CWDM 避开了这一难点,因而大幅降低了成本,整个 CWDM 系统成本只有 DWDM 的 30%。

CWDM 用很低的成本提供了很高的接入带宽,适用于点对点、以太网、SONET 环等各种流行的网络结构,缺点是容量小,传输距离短。

4. ASON

ASON 是“自动交换光网络”的英文缩写。目前,国内电信运营建设的长途传输网采用的主要是基于 SDH 的环网保护技术,网络结构以环网为主,链形为辅,承载业务主要是传统的 TDM 电路业务,其安全性和 QoS 均有良好的保障。但随着数据业务的迅猛发展,特别是 IP 业务正呈现爆炸式增长态势,业务需求呈现出带宽越来越多、颗粒越来越大、带宽提供方式越来越灵活、电路传输性能和可靠性要求越来越高等特点。业务网的发展和网络规模的扩大,使得目前组织模式以环网为主的传送网已暴露出自身难以克服的问题。ASON 技术的提出就是为了适应数据业务的迅猛增长。近年来,随着 ASON 技术的日趋成熟,国外许多运营商已建设了 ASON,国内运营商在省内干线和城域网中引入了 ASON 技术,其中部分运营商在长途传输网中计划部署 ASON 节点。与传统传输技术相比,ASON 具有以下明显的技术优势:

(1) ASON 引入交换的概念,核心骨干网中的传统环网结构将逐步转向采用更灵活的网状结构。采用网状结构可以提高网络保护生存能力,简化网络结构,节省保护通路预留带宽,从根本上解决传输时延和可靠性问题。

(2) ASON 可以实现动态按需分配带宽,提高网络资源利用率,全面降低组网成本。

(3) ASON 采用的控制面协议为标准的协议,可以实现在多厂商环境下业务的连接,呼叫控制甚至快速恢复,为解决多厂商设备互连问题和实现快速提供业务铺平道路。

(4) ASON 提供更多的新业务类型。这些新业务主要包括长/子波长出租、批发、转售,光拨号业务,带宽贸易。

(5) ASON 技术提供不同的网络保护恢复方式,从而可根据用户对不同层面、不同质量级别的要求,按需制定不同的保护恢复方式。与传统的 SDH 网络相比,这种方式显然更经济有效。

(6) ASON 技术支持资源自动发现、拓扑自动发现, 具有快速建立业务的能力, 可以对网络进行动态的优化调整。

1.1.1.4 SDH 传输线路组成

SDH 传输线路由光纤和光缆、光接口、无源器件、有源器件、DDF、ODF 等组成, 如图 1-1-3 所示。

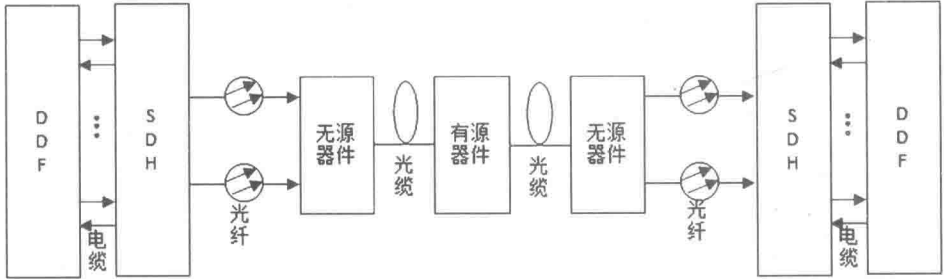


图 1-1-3 SDH 传输线路的构成

1. 光纤和光缆

光纤和光缆的作用是传送光信号。

(1) 光纤的结构。光纤的典型结构是多层同轴圆柱体, 自内向外分别为纤芯、包层、涂覆层, 如图 1-1-4 所示。其中, 纤芯由高度透明的材料制成, 是光波的主要传输通道; 包层也由透明材料制成, 其折射率略小于纤芯, 为光波的传输提供反射面和光隔离面, 使光波的传输性能相对稳定; 涂覆层能保护光纤不受水汽的侵蚀和机械的擦伤, 同时又增加光纤的柔韧性, 延长光纤的寿命; 此外, 光纤涂覆层上的色标对光缆的熔接具有重大意义。

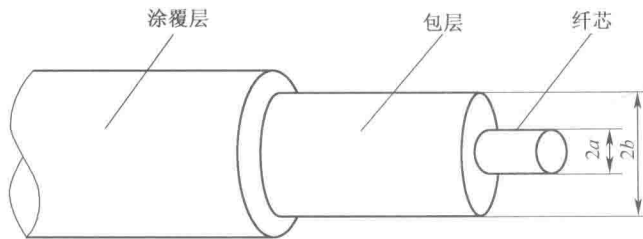


图 1-1-4 光纤的基本结构图

(2) 光纤的导光原理。光纤的导光特性基于光射线在纤芯和包层界面上的全反射, 从而使光纤限定在纤芯中传输, 如图 1-1-5 所示。

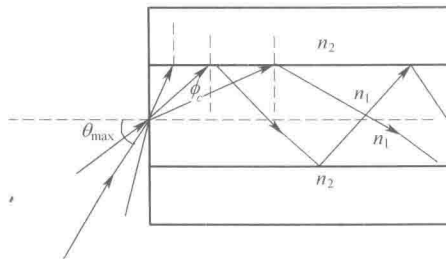


图 1-1-5 光纤导光原理示意图

如果光纤纤芯的折射率为 n_1 ，包层的折射率为 n_2 ，光波在光纤中传输的必要条件是 $n_1 > n_2$ ，纤芯和包层的相对率差 $\Delta = \frac{n_1 - n_2}{n_1}$ ， Δ 差越大，把光能量束缚在纤芯的能力越强；但 Δ 太大，

会使纤芯掺杂造成的损耗变大，光纤的信息传输容量变小，因此 Δ 也不能太大，一般单模光纤的 Δ 值为 0.3%~0.6%，多模光纤的 Δ 值为 1%~2%。

由于纤芯的折射率 n_1 大于包层的折射率 n_2 ，当光信号由纤芯向包层传播时，如果入射角大于或等于某一角度就会发生全反射，因此光信号就不能折射到包层去，而是全部反射回来，又转向光纤轴线另一侧的纤芯和包层的界面上发生再次全反射，同时以“之”字形向前传播。

从光源输出的光入射在光纤端面上，其中一部分是不能进入光纤的，而能进入光纤端面的光也不一定能能在光纤中传输，只有符合某一特定条件的光，才能在光纤中发生全反射而传播到远方。

假设光线以入射临界角 θ_{\max} 从空气入射到光纤纤芯，如图 1-1-5 所示，该入射光在纤芯和包层的交界面刚好发生反射， φ_c 为发生全反射的临界角。

入射临界角 θ_{\max} 的正弦与 n_0 的乘积称为光纤的数值孔径，用 NA 表示，因为光在空气中的折射率为 n_0 ，所以有：

$$NA = n_0 \sin \theta_{\max} = \sin \theta_{\max} = n_1 \sqrt{2\Delta} \quad (1-1-1)$$

式中， n_1 为纤芯的折射率； Δ 为纤芯与包层的相对折射率差。

数值孔径 NA 是光纤接受入射能力的重要参数，它反映了光纤捕捉光能力的大小。从式 (1-1-1) 可见， NA 只决定于芯包折射率差 Δ ，而与芯包直径无关。 Δ 越大， NA 越大，光纤聚光能力越强。为了使光源功率更有效地耦合到光纤中， Δ 就要低，使纤芯掺杂造成的损耗最小。通常，用于通信的光纤 NA 的取值范围为 0.1~0.3。

(3) 光纤的传输特性。光纤的传输特性包括衰减特性和色散特性。

1) 光纤的衰减特性。光在光纤中传输时，其强度或功率会发生衰减，称为光纤损耗。损耗的大小可用衰减系数来衡量，即

$$a = 10 \lg \frac{P_i}{P_o} L \quad (\text{dB/km}) \quad (1-1-2)$$

或 $a = A / L \quad (\text{dB/km})$ ， $A = P_i \quad (\text{dBm}) - P_o \quad (\text{dBm})$

式中， L 为被测光纤的长度； P_i 为输入光纤的光功率； P_o 为从光纤输出的光功率。光纤的衰减系数是度量光信号在光纤中传输损失的重要参数。光纤传输损耗主要由光纤的材料吸收损耗、散射损耗、辐射损耗、连接损耗等引起。光纤传输损耗会限制光纤传输系统的传输距离。

2) 光纤的色散特性。由于光纤中所传输的光信号包含了不同的频率成分和模式成分，在传播过程中，不同的频率成分和模式成分因传播速度不同而互相散开，引起传输信号的波形失真和脉冲展宽，这种现象称为色散。光纤的色散主要由模式色散（模间色散）和模内色散组成。其中，膜内色散又包含了材料色散；多模光纤既有模式色散（模间色散）又有模内色散。

材料色散的计算公式为

$$\tau_m = \Delta\lambda \times DL \quad (1-1-3)$$

式中， $\Delta\lambda$ 为光源谱线宽度 (nm)； D 为光纤材料色散系数单位为 ps/(km×nm)，典型的石英光纤材料色散系数为 $D=85\text{ps}/(\text{km}\times\text{nm})$ ，典型激光器和发光二极管的谱线宽度分别 2nm 和 5nm，它们在 1km 光纤的材料色散分别为 0.17ns 和 4.25ns。

在单模光纤通信系统中,如考虑色散影响的最大中继距离为

$$L = \frac{\varepsilon \times 10^6}{R \times \Delta\lambda \times D} \quad (1-1-4)$$

式中, ε 为与光通道功率代价有关的参数,对多纵模激光器 (MLM-LD) 取 $\varepsilon = 0.115$, 对单纵模激光器 (SLM-LD) 取 $\varepsilon = 0.306$; R 为系统线路上的传输码速 (Mb/s), 它与系统数字速率有关, 随不同的线路码类型有所变化。

(4) 光纤的分类。光纤的种类很多, 从不同的角度出发, 可有以下几种类型。

1) 按光纤的材料组成划分, 可分为石英系光纤、组分玻璃光纤、塑料光纤、氟化物光纤、液芯光纤。

2) 按光纤传输模式的多少划分, 可分为单模光纤 (SMF) 和多模光纤 (MMF)。

在此我们引入“光纤传输模式”这个概念。“光纤传输模式”就是光信号在光纤内传输时形成的广场形状, 即反映在光纤横截面上的光斑形状。若只有一个光斑, 则这种光纤就称为单模光纤; 若有两个或两个以上光斑, 则称这种光纤为多模光纤。单模光纤光斑和多模光纤光斑如图 1-1-6 所示。

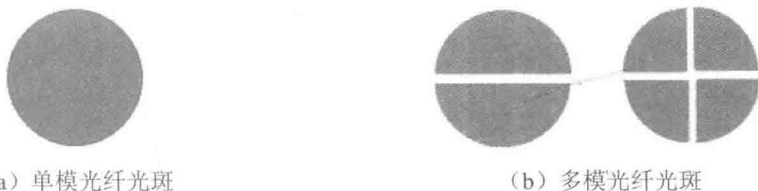


图 1-1-6 单模光纤光斑和多模光纤光斑

3) 按光纤工作波长的长短划分, 可分为短波长 ($0.8 \sim 0.9 \mu\text{m}$) 光纤、长波长 ($1.0 \sim 1.7 \mu\text{m}$) 光纤和超长波长 ($< 2 \mu\text{m}$) 光纤。

4) 按光纤横截面上折射率的分布状况划分, 可分为阶跃型光纤 (SIF) 和渐变型 (GIF) 光纤。阶跃型光纤横截面上折射率的分布如图 1-1-7 所示, 渐变型光纤横截面上折射率的分布如图 1-1-8 所示。

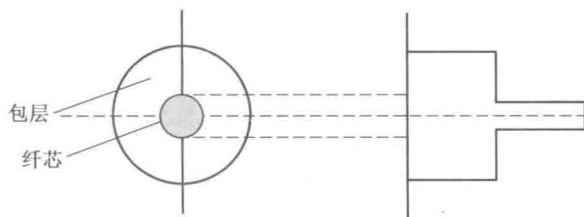


图 1-1-7 阶跃型光纤横截面上折射率的分布

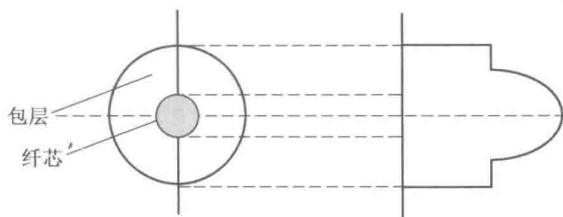


图 1-1-8 渐变型光纤横截面上折射率的分布

阶跃型光纤在纤芯和包层交界处的折射率呈阶梯形突变, 纤芯的折射率 n_1 和包层的折射率 n_2 是均匀常数, 即纤芯横截面上各点的折射率都为 n_1 。

渐变型光纤纤芯的折射率不是均匀常数, 而是随着其半径的增加, 按一定的规律逐渐减小, 但这种光纤包层的折射率仍为均匀常数。

5) 按 ITU-T 建议文号划分, 可分为 G.651、G.652 和 G.655 等。通常, 把光纤分为单模光纤和多模光纤两大类。多模光纤损耗大, 其传输带宽较小, 但它在传输和分配大功率光信号时, 不会出现非线性效应, 因此多模光纤一般适用于较短距离的信号传输, 如数据链路、城域网、用户分配网等; 单模光纤损耗小, 传输带宽较大, 适用于远距离、大容量的信号传输。因此, 现在所使用的光纤多为单模光纤。

单模光纤按 ITU-T 建议文号, 分为 G.652、G.653、G.654、G.655 等。其中, G.652 和 G.655 光纤在目前的工程中应用得最广泛。

①G.652 单模光纤

G.652 光纤又称常规单模光纤, 可工作在 1310nm 和 1550nm 两个波段。其在 1310nm 波长处色散最小, 约为 $1\sim 3\text{ps}/(\text{nm}\times\text{km})$, 其损耗率为 $0.34\text{dB}/\text{km}$; 而在 1550nm 波长处则色散最大, 约为 $17\text{ps}/(\text{nm}\times\text{km})$, 但损耗率最低约为 $0.2\text{dB}/\text{km}$ 。

因此, G.652 光纤在传输 1550nm 波段的光信号时, 其大色散对系统传输速率和再生距离有较大影响。G.652 光纤价格较低, 技术成熟, 是目前世界上应用量最大的光纤 (约占 90% 以上)。

②色散位移 (G.653) 单模光纤/DSF

G.653 光纤针对 G.652 光纤在 1550nm 波长处的大色散, 通过调整光纤制造工艺, 使光纤零色散点转移到 1550nm 波长处, 因此 G.653 光纤在 1550nm 波长处具有最低的损耗率和近乎为零的色散。但是, 这种光纤只适于传输 1550nm 波长的光信号, 并且在多波长系统中, 由于零色散会引起严重的四波混频现象, 故不能支持波分复用系统。

③截止波长位移 (G.654) 单模光纤

G.654 的工作波长为 1550nm, 其特点与 G.652 相同。唯一不同之处在于 G.654 在波长 1550nm 处的损耗比 G.652 更低, 小于 $0.2\text{dB}/\text{km}$, 目的是增加传输距离, 一般用于海底光缆。

④非零色散位移 (G.655) 单模光纤/NZ-DSF

G.655 光纤是针对 G.652 光纤在 1550nm 波长处的大色散和 G.653 光纤不能支持波分复用系统的缺陷而开发的, G.655 在 1550nm 波长处既具有最小的损耗, 又具有较低的色散值, 因此它在新建的大容量、高速率的密集波分复用系统中被大量使用。

⑤色散补偿单模光纤/DCF

色散补偿光纤是一种在 1550nm 波长处有很大负色散的单模光纤, 其色散系数为 $-50\sim -548\text{ps}/(\text{nm}\times\text{km})$, 损耗率为 $0.5\sim 1.0\text{dB}/\text{km}$ 。在常规单模光纤系统的使用中, 或者当常规单模光纤系统的工作波长由 1310nm 升级到 1550nm 时, 其总色散呈较大正色散值。这时可在该光纤系统中加入一段色散补偿光纤, 就可以抵消几十公里常规光纤在 1550nm 波长处的正色散, 从而达到增加传输容量、提高传输速率、延伸传输距离的目的。至于色散补偿光纤的加入给系统带来的损耗, 可通过提高发光功率或采用光纤放大器予以补偿。

⑥色散平坦单模光纤/DFP

色散平坦光纤的特点是可具有两个零色散波长, 对于 WDM 系统是很合适的; 缺点是损耗较大, 制造工艺复杂。

此外,还有大有效纤芯面积光纤(LEAF-CORNING),模长直径为 $9.6\mu\text{m}$,有效面积为 $72\mu\text{m}^2$,可以改善非线性;真波光纤(Truewave-LUCENT)——小色散斜率光纤,即在 1550nm 波段中色散系数的斜率很小;全波光纤——无水峰光纤,用于城域网等类型。

(5) 光缆的分类及标识。将多跟光纤按一定方式加上护套和加强材料就构成了一条光缆。一条光缆所容纳的光纤数与当时的技术条件有关,一般一根光缆中有 4 根、8 根、12 根等。光纤要制成光缆有以下原因:

1) 如果不成缆,过大的张力会使光纤断裂。

2) 光纤如果与其他原件(如加强构件、护套等)组合成缆,其具有良好的传输性以及抗拉、抗冲击、抗弯曲等机械性能。

3) 可根据不同的使用情况,制成不同结构形式或容纳不同芯数光纤的光缆。

4) 可以在光缆中加入金属线,作为加强材料。

光缆由光纤、加强件和外护层构成,可分为层绞式、骨架式、带状式和束管式 4 种,如图 1-1-9 所示。

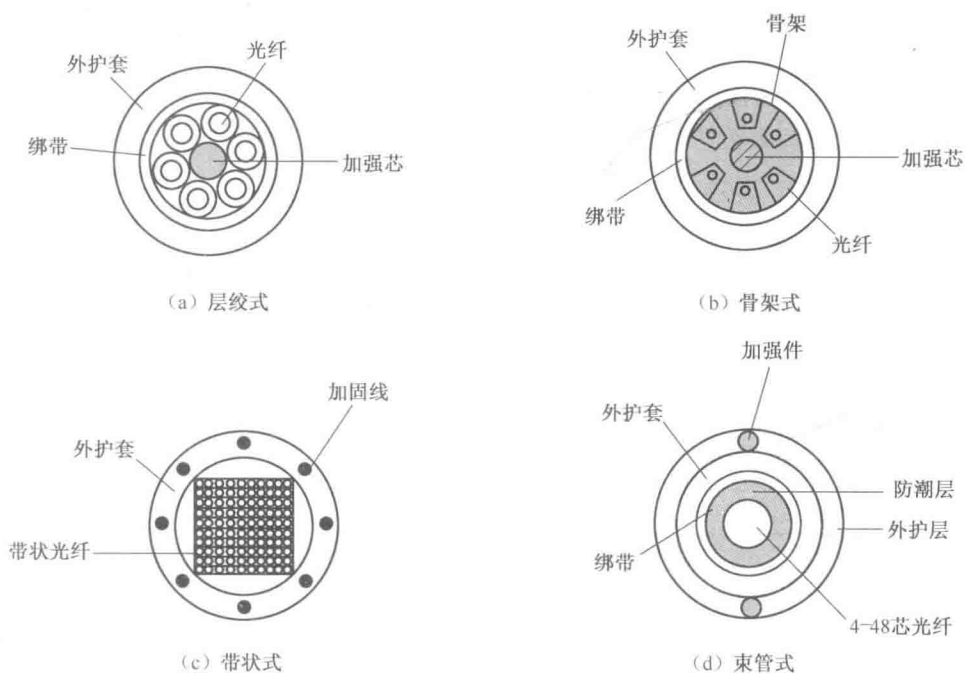


图 1-1-9 光缆典型结构

1) 层绞式。把松套光纤绕在中心加强芯的周围绞合而构成。这种结构能很好地保护光纤,光缆敷设时引起损耗变化小,适合于制作芯数比较小的光缆,一般限于几芯到几十芯,现实中也有 100 多芯的光缆。

2) 骨架式。把紧套光纤或一次涂覆的光纤置于骨架中。这种结构的缆芯抗侧压力性能好,可使光纤免受各种外力的影响。

3) 带状式。由 4~12 芯的光纤构成光纤带,然后由光纤带构成光缆,适合于制作 100 芯以上的高密度光缆。

4) 束管式。把一次涂覆光纤或光纤束放入大套管中,加强件配置在套管周围而构成。这

种机构的加强件同时起着护套的部分作用、有利于减轻光缆的重量。

根据使用条件, 光缆可分为许多类型。一般光缆有室内光缆、架空光缆、直埋光缆和管道光缆; 特殊场合使用的光缆有电力网使用的架空地线复合光缆, 跨越海洋的海底光缆, 易燃易爆环境使用的阻燃光缆以及各种不同条件下使用的军用光缆等。

光缆的型号标识如下:

I	II	III	IV			V	VI
---	----	-----	----	--	--	---	----

I. 此项为光缆用途, 有以下表识:

GY——通信用室外光缆

GJ——通信用室内光缆

GH——通信用海底光缆

GT——通信用特殊光缆

GS——通信用设备内光缆

II. 此项为光缆加强构件类型, 有以下表识:

空白——金属加强构件

F——非金属加强构件

III. 此项为光缆加强构件类型, 有以下表识:

D——带状光纤

H——束状光纤

T——填充油膏

U——有阻水带

B——扁平形状

Z——有阻燃带

IV. 此项为光缆保护套类型, 有以下表识:

A——铝带—聚乙烯粘结护套

S——钢带—聚乙烯粘结护套

L——铝质护套

G——钢质护套

V. 此项为光纤芯数, 以阿拉伯数字表示。

VI. 此项为光纤类别, 有以下表识:

A——多模光纤

B——单模光纤

例如: 光缆上有 GYTA-18B 的标志, 其中, GY 表明这种光缆是通信用室外光缆; T 表明光缆中填充了油膏; A 表明光缆护套类型为铝带—聚乙烯粘结护套; 18B 则表明这种光缆有 18 根光纤且光纤类型为单模。

2. 光接口

光接口是 SDH 光缆数字线路系统最具特色部分, 一般附着在光纤通信设备表面, 主要用于收发光信号。通常用光纤活动连接器来充当光接口器件。

根据系统内是否有光放大器以及线路速率是否达到 STM-64, 可以将 SDH 系统的光接口

分为两类：第一类是不包括任何光放大且速率低于 STM-64 的；第二类是包括光放大器且速率达到 STM-64 的。

为了简化横向系统的兼容开发，可以将众多不同应用场合的光接口划分为三类：局内通信光接口、短距离通信光接口和长距离通信光接口。不同的应用场合用不同的代码表示，如表 1-1-1 所示（其中，变色字符对应第一类系统，其余对应第二类系统）。代码的第一位字母表示应用场合：I 表示局内通信；S 表示短距离局间通信；L 表示长距离局间通信；V 表示甚长距离局间通信；U 表示超长局间通。字母横杠后的第一位表示 STM 的速率等级。例如，1 表示 STM-1；16 表示 STM-16。第二位数字（即小数点后的第一个数字）表示工作的波长窗口和所用光纤类型：1 和空白表示工作窗口为 1310nm，所用光纤为 G.652 光纤；2 表示工作窗口为 1550nm，所用光纤为 G.652 光纤；3 表示工作窗口为 1550nm，所用光纤为 G.653 光纤；4 表示工作窗口为 1550nm，所用光纤为 G.654 光纤；5 表示工作窗口为 1550nm，所用光纤为 G.655 光纤。

表 1-1-1 光接口的分类

波长/ nm	光纤类型	目标距离/ km	STM-1	STM-4	STM-16	目标距离/ km	STM-64
1310	G.652	≤2	I-1	I-4	I-16		—
1310	G.652	~15	S-1.1	S-4.1	S-16.1	~20	S-64.1
1550	G.652	~15	S-1.2	S-4.2	S-16.2	~40	S-64.2
1550	G.653					~40	S-64.3
1310	G.652	~40	L-1.1	L-4.1	L-16.1	~40	L-64.1
1550	G.652	~80	L-1.2	L-4.2	L-16.2	~80	L-64.2
1550	G.653	~80	L-1.3	L-4.3	L-16.3	~80	L-64.3
1310	G.652	~80	—	V-4.1	V-16.1	~80	V-64.1
1550	G.652	~120	—	V-4.2	V-16.2	~120	V-64.2
1550	G.653	~120	—	V-4.3	V-16.3	~120	V-64.3
1550	G.652	~160	—	U-4.2	U-16.2	—	—
1550	G.653	~160	—	U-4.3	U-16.3	—	—

3. 无源器件与有源器件

光无源器件包括光纤活动连接器、光耦合器、光隔离器与光环行器、光衰减器、光开关等，它们起着光学连接、光信号的衰减、隔离和波分复用、光入切换等作用。

(1) 光纤活动连接器。光纤和光纤的连接有两种形式：一种是永久性连接；另一种是活动性连接。永久性连接有胶接法和熔接法。目前普遍采用熔接法，熔接在专用的熔接机上进行。

光纤活动连接器是实现光纤与光纤之间可拆卸（活动）连接的器件，主要用于光纤与光端机之间、光纤与光线路之间或其他光无源器件之间的连接。光纤活动连接器的种类如表 1-1-2 所示。

活动连接器的主要技术指标是插入损耗，插入损耗分为内耗和外耗两部分。活动连接器的内耗值约为 0.5dB；活动连接器的外耗值约为 0.5dB。