

高速铁路管理人员和专业技术人员培训教材



专业关键技术教材

# 高速铁路通信技术 ——承载网

◎ 中国铁路总公司

GAOSU TIELU TONGXIN JISHU  
CHENGZAIWANG

中国铁道出版社  
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

高速铁路管理人员和专业技术人员培训教材

专业关键技术教材

# 高速铁路通信技术

## ——承载网

中国铁路总公司



中国铁道出版社  
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

## 内 容 简 介

本书为中国铁路总公司组织编写的高速铁路管理人员和专业技术人员培训教材之一,是通信专业关键技术教材。全书分为三篇:光缆线路,传输网,数据通信网。光缆线路的主要内容包括:光纤和光缆、光缆敷设及防护、光纤监测系统、高速铁路光缆线路、光缆维护及测试。传输网的主要内容包括:光同步数字传输系统、波分复用系统与光传送网、高速铁路传输网、传输网维护及测试。数据通信网的主要内容包括:数据通信网基本概念、数据通信网设备、铁路数据通信网组网、网络管理及网络安全、铁路数据通信网维护及测试。

本书适用于高速铁路通信专业技术人员培训,也可供通信承载网设备运用管理人员学习,对各类职业院校相关师生学习也有重要的参考价值。

### 图书在版编目(CIP)数据

高速铁路通信技术. 承载网/中国铁路总公司编著.

—北京:中国铁道出版社,2013.6

高速铁路管理人员和专业技术人员培训教材

ISBN 978-7-113-16884-1

I. ①高… II. ①中… III. ①高速铁路—铁路通信—  
通信网—技术培训—教材 IV. ①U238

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 142654 号

书 名: 高速铁路管理人员和专业技术人员培训教材  
          **高速铁路通信技术——承载网**  
作 者: 中国铁路总公司

责任编辑: 崔忠文

编辑部电话: (路) 021-73146

电子信箱: dianwu@vip.sina.com

(市) 010-51873146

助理编辑: 亢嘉豪

封面设计: 崔丽芳

责任校对: 马 丽

责任印制: 陆 宁

出版发行: 中国铁道出版社 (100054, 北京市西城区右安门西街 8 号)

网 址: <http://www.tdpress.com>

印 刷: 三河市华业印装厂

版 次: 2013 年 11 月第 1 版 2013 年 11 月第 1 次印刷

开 本: 787 mm × 1092 mm 1/16 印张: 19 字数: 439 千

书 号: ISBN 978-7-113-16884-1

定 价: 110.00 元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版图书,如有印制质量问题,请与本社读者服务部联系调换。电话:(010) 51873174(发行部)

打击盗版举报电话:市电(010) 51873659,路电(021) 73659,传真(010) 63549480

# Preface 前言

党的十六大以来,在党中央、国务院的正确领导下,我国铁路事业得到了快速发展,目前,中国高速铁路运营里程已经位居世界第一。在建设和运营实践中,我国高速铁路积累了丰富经验,取得了大量创新成果。将这些经验和成果进行系统总结,编写形成规范的培训教材,对于提高培训质量、确保高速铁路安全有着十分重要的意义。为此,中国铁路总公司组织相关专业的技术力量,统一编写了这套高速铁路管理人员和专业技术人员培训系列教材。

本套培训教材共分高速铁路行车组织、机务、动车组、供电、工务、通信、信号、客运 8 个专业,每个专业分为科普教材、专业关键技术教材和案例教材三大系列。科普教材定位为高速铁路管理人员普及型读物,对本专业及相关专业知识进行概论性介绍,学习后能够基本掌握本专业所需的基本知识、管理重点、安全关键;专业关键技术教材定位为高速铁路专业技术人员使用的学习用书,对本专业关键技术进行系统介绍,学习后能够初步掌握本专业新技术和新设备的运用维护关键技术;案例教材定位为高速铁路岗位人员学习用书,对近年来中国高速铁路运营实践中发生的典型案例及同类问题的处理方法进行总结归纳,学习后能为处理同类问题提供借鉴。

本书为通信专业关键技术教材《高速铁路通信技术——承载网》。通信承载网包括光缆线路、传输网、数据通信网等。光缆线路是光纤通信系统组成的重要组成部分,是铁路有线通信中的主要传输媒质。光同步数字传输系统作为铁路所有系统信息的承载平台,主要承载话音业务、数据业务和图像业务的传送。数据通信网是铁路 IP 数据业务的综合承载网络,是铁路通信及信息等系统共用的数据通信基础网络平台。

全书共三篇:光缆线路,传输网,数据通信网。光缆线路的主要内容包括:光纤和光缆、光缆敷设及防护、光纤监测系统、高速铁路光缆线路、光缆维护及测

试。传输网的主要内容包括:光同步数字传输系统、波分复用系统与光传送网、高速铁路传输网、传输网维护及测试。数据通信网的主要内容包括:数据通信网基本概念、数据通信网设备、铁路数据通信网组网、网络管理及网络安全、铁路数据通信网维护及测试。

本书由王亚民主编,孙强主审。参加编写人员有:谢衡元(第一、二、三、五、七、十章),孔立志(第四、六、十一章),卜爱琴(第八、九章),段静(第十二、十三、十七章),陈郑超(第十四、十五、十六章)。参加审定人员有:沙玉林、任启军、屈毅。

由于近年来高速铁路技术发展较快,同时编者的水平及精力所限,本书内容不全面、不恰当甚至错误的地方在所难免,热忱欢迎使用本书的广大读者以及行业内专家学者对本书提出批评、指正意见,以便编者对本书内容不断地改进和完善。

编 者

二〇一三年六月



# Contents 目 录

## 第一篇 光缆线路

|                      |    |
|----------------------|----|
| 第一章 概 述 .....        | 1  |
| 第一节 光缆线路组成 .....     | 1  |
| 第二节 铁路光缆线路发展概况 ..... | 2  |
| 第二章 光纤和光缆 .....      | 4  |
| 第一节 光纤结构和种类 .....    | 4  |
| 第二节 光纤主要特性 .....     | 8  |
| 第三节 光缆结构、种类和应用 ..... | 20 |
| 第四节 光缆型号命名方法 .....   | 28 |
| 第三章 光缆敷设及防护 .....    | 33 |
| 第一节 光缆敷设方式 .....     | 33 |
| 第二节 光缆线路防护 .....     | 46 |
| 第三节 光缆接续和成端 .....    | 53 |
| 第四节 光缆线路标石 .....     | 62 |
| 第四章 光纤监测系统 .....     | 65 |
| 第一节 系统功能 .....       | 65 |
| 第二节 系统结构 .....       | 68 |
| 第三节 设备组成 .....       | 69 |
| 第四节 监测方式及工作原理 .....  | 69 |
| 第五节 系统的组网方式 .....    | 72 |
| 第六节 系统及设备技术要求 .....  | 73 |
| 第五章 高速铁路光缆线路 .....   | 79 |
| 第一节 光缆、光纤选择 .....    | 79 |
| 第二节 光缆敷设及防护 .....    | 80 |
| 第三节 光缆引入及成端 .....    | 84 |

|                   |    |
|-------------------|----|
| 第六章 光缆维护及测试 ..... | 89 |
| 第一节 维护项目 .....    | 89 |
| 第二节 维护测试及仪表 ..... | 91 |

## 第二篇 传输网

|                               |     |
|-------------------------------|-----|
| 第七章 传输网概述 .....               | 95  |
| 第一节 传输网组成 .....               | 95  |
| 第二节 铁路传输网发展 .....             | 100 |
| 第八章 光同步数字传输系统 .....           | 104 |
| 第一节 SDH/MSTP 基本概念 .....       | 104 |
| 第二节 SDH/MSTP 的速率与帧结构 .....    | 107 |
| 第三节 SDH/MSTP 的同步复用和映射方法 ..... | 114 |
| 第四节 数字复用设备及功能 .....           | 125 |
| 第五节 传输系统组网及保护方式 .....         | 128 |
| 第六节 传输系统同步 .....              | 135 |
| 第七节 传输系统网络管理 .....            | 142 |
| 第八节 光传输中继距离计算方法 .....         | 146 |
| 第九章 波分复用系统与光传送网 .....         | 150 |
| 第一节 波分复用系统概述 .....            | 150 |
| 第二节 密集波分复用系统 .....            | 152 |
| 第三节 光传送网 .....                | 159 |
| 第十章 高速铁路传输网 .....             | 169 |
| 第一节 高速铁路传输网承载业务类型 .....       | 169 |
| 第二节 高速铁路传输网组网 .....           | 171 |
| 第三节 高速铁路传输网设备类型 .....         | 179 |
| 第十一章 传输网维护及测试 .....           | 185 |
| 第一节 维护项目 .....                | 185 |
| 第二节 维护测试及仪表 .....             | 188 |

## 第三篇 数据通信网

|                       |     |
|-----------------------|-----|
| 第十二章 概    述 .....     | 192 |
| 第一节 数据通信系统组成 .....    | 192 |
| 第二节 铁路数据通信系统的发展 ..... | 195 |



|                            |     |
|----------------------------|-----|
| <b>第十三章 数据通信网基本概念</b>      | 199 |
| 第一节 OSI 参考模型               | 199 |
| 第二节 TCP/IP 协议体系            | 203 |
| 第三节 IP 地址                  | 209 |
| 第四节 以太网                    | 217 |
| 第五节 路由协议                   | 225 |
| 第六节 虚拟专用网                  | 239 |
| 第七节 数据通信网的服务质量保证           | 247 |
| <b>第十四章 数据通信网设备</b>        | 251 |
| 第一节 以太网交换机                 | 251 |
| 第二节 路由器                    | 252 |
| 第三节 其他设备                   | 253 |
| 第四节 高速铁路数据通信网设备配置原则        | 255 |
| <b>第十五章 铁路数据通信网组网</b>      | 256 |
| 第一节 承载业务类型                 | 256 |
| 第二节 铁路数据通信网网络结构            | 257 |
| 第三节 铁路数据通信网路由协议            | 260 |
| 第四节 铁路数据通信网 IP 地址分配        | 262 |
| 第五节 铁路数据通信网业务接入            | 263 |
| 第六节 铁路数据通信网承载方式            | 265 |
| 第七节 高速铁路数据通信网建设方案          | 267 |
| <b>第十六章 网络管理及网络安全</b>      | 269 |
| 第一节 网络管理系统                 | 269 |
| 第二节 网络安全                   | 271 |
| <b>第十七章 铁路数据通信网维护及测试</b>   | 276 |
| 第一节 维护项目                   | 276 |
| 第二节 维护测试仪表                 | 281 |
| <b>附录一 主要技术标准名称</b>        | 285 |
| <b>附录二 名词术语英( 缩略语) 中对照</b> | 290 |
| <b>参考文献</b>                | 293 |



# 第一篇 光缆线路

通信就是信号(包括光信号、电磁波等信号)从发送端通过某种媒介达到接收端并被有效接收的物理过程,这个过程中传输信号的媒介就是通信线路。通信线路可分为架空明线、通信电缆线路、通信光缆线路。光缆线路是光纤通信系统组成的重要部分,是有线通信的主要传输媒介。

## 第一章 概 述

光纤通信是以光缆作为传输的一种通信方式,可实现长距离、大容量传输,具有抗电磁干扰、保密性好等优点,广泛用于电信通信网以及铁路、电力等专用通信网。本章主要介绍铁路光缆线路组成和铁路光缆线路发展概况。

### 第一节 光缆线路组成

光缆线路是指光缆终端设备之间的光缆径路,由光缆、管道、杆路和光纤连接及分歧设备构成。光缆线路上的光纤连接一般采用光缆接头盒,在机房内的光纤连接一般采用光缆终端盒和光纤分配架,如图 1—1 所示。

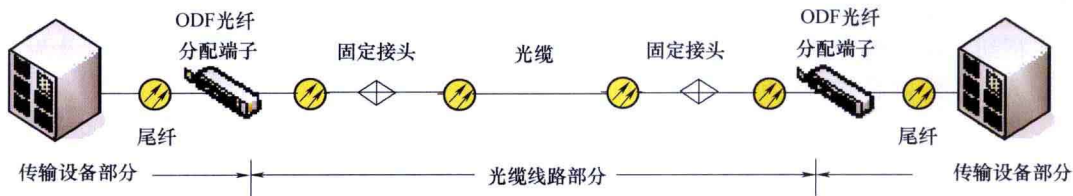


图 1—1 光缆线路示意图

光缆线路的工程施工包括光缆终端盒、光纤配线架(ODF)、接头盒等设备安装,以及光缆径路选择、测量、光缆敷设和接续等。

铁路通信网光缆线路是铁路通信网的主要组成部分,铁路光缆线路主要由干线光缆线路、区间光缆线路、站场光缆线路和枢纽地区光缆线路组成。

### 一、干线光缆线路

干线光缆线路主要是指沿铁路线敷设,用于为各铁路局间、铁路总公司至各铁路局、铁路沿线车站和通信枢纽间通信网和铁路其他专业提供光纤通道的光缆。铁路干线光缆线路可分为骨干光缆线路和局干光缆线路。

在铁路通信网中,维护部门根据光缆使用情况及重要性,可划分为骨干光缆线路或局干光缆线路,具体情况由相关规定确定。

干线光缆线路在通信传输网中主要用于铁路骨干层、汇聚层和接入层。

在 CTCS-2 和 CTCS-3 级高速铁路线路,干线光缆线路还用于铁路信号专业的信号安全数据网。

### 二、区间光缆线路

区间光缆线路主要是指在相邻车站区间敷设的光缆。

区间光缆线路主要为铁路沿线区间业务节点间,以及区间节点至车站、站段间的传输网及业务信息传送提供光纤通道。例如:光纤直放站近端机与远端机间的信息传送,铁路线路视频监控图像采集传送等。

### 三、站场光缆线路

站场光缆线路主要是指在车站内、站场内各业务节点间,各业务节点至业务汇聚节点或通信机房间敷设的光缆。

站场光缆线路主要为车站内、站场内各业务节点间的传输网组网及业务信息传送提供光纤通道。

### 四、枢纽地区光缆线路

枢纽地区光缆线路主要是指一个本地(城域)各铁路部门区域内的各业务节点间,各业务节点至业务汇聚节点或通信机房间敷设的光缆。

枢纽地区光缆线路主要为枢纽地区内各业务节点间的传输网提供光纤通道,以及其他业务信息组网和传送提供光纤通道。

## 第二节 铁路光缆线路发展概况

20 世纪 70 年代末,国外铁路开始应用光纤技术。我国铁路光缆、数字光纤通信的研究和试点在 20 世纪 80 年代初期起步。1980 年,在北京东郊环行线进行了光纤通信抗电气化铁路电磁干扰试验。此后,铁路上陆续建设了一批数字光纤通信试点、示范工程,并开始正式在工程中采用。

1983 年,铁道部在北京铁路局至北京站间建成一条长 12 km 的短波长多模光缆线路,开通 8 Mbit/s 光传输系统,作为地区电话中继线使用,这是我国铁路第一条实用的光通信线路。



1984 年,铁道部在京秦铁路引入光缆、光数字设备,建立长途光缆通信试验段。1985 年,根据世界铁路光通信技术迅速发展情况,结合京秦线试验段光缆、设备实用经验,在大秦线铁路采用数字光纤通信,以保证重载电气化铁路大电流干扰下的通信质量,于 1988 年底建成开通了大秦线第一期工程。该工程是中国铁路第一条长途干线光缆通信线路,也是当时国内最长的一条长途干线光缆通信线路,具有示范意义。它是铁路通信技术实现了一次新的突破,也掀开了数字光纤通信在中国铁路发展的序幕。

20 世纪 90 年代开始,中国铁路通信建设工程中逐渐采用光缆线路更新改造既有架空明线和电缆线路。至今,铁路通信线路以光缆为主体,光缆大部分为 G.652 光纤,光缆容量主要为 8 芯、16 芯、20 芯、24 芯、32 芯等。既有铁路线光缆在铁路一侧敷设 1 条,以直埋为主;高速铁路线光缆在铁路 2 侧各敷设 1 条,以槽道为主;个别支线还有架空光缆线路。

## 第二章 光纤和光缆

光纤和光缆的结构、种类、特性,对光纤通信系统的影响很大。光缆线路的敷设施工质量是确保光纤、光缆特性性能良好和长期稳定的关键。为此,本章从工程角度,分别介绍光纤和光缆的结构、种类、传输特性、光学特性、机械特性等。

### 第一节 光纤结构和种类

光纤的种类比较多,按传输的总模数可分为单模光纤和多模光纤,其在光纤结构、传输原理、主要特性等方面的基本概念各不相同。

#### 一、光纤结构

光纤,全称为光导纤维。它是由两种不同折射率的玻璃材料拉制而成,利用光导纤维中的全反射原理而制成的光传导工具。

##### (一) 光纤基本结构

光纤的基本结构如图 2—1 所示。内层为纤芯,作用是传输光信号;外层为包层,作用是使光信号封闭在纤芯中传播。因此,纤芯的折射率  $n_1$  比包层的折射率  $n_2$  稍大,这是光纤结构的关键。

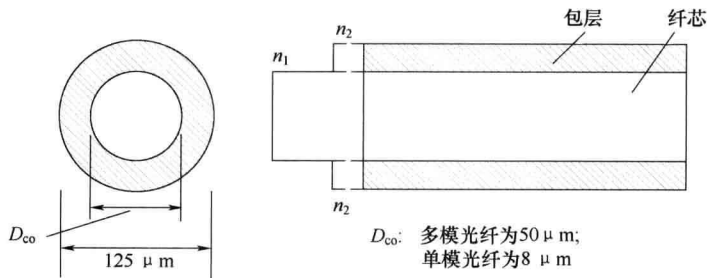


图 2—1 光纤的基本结构

图 2—1 所示的光纤,实际上是平时所说的裸纤。光纤外径为  $125\ \mu\text{m}$ ,多模光纤的纤芯直径为  $50\ \mu\text{m}$ ,单模光纤的纤芯直径为  $8\sim 10\ \mu\text{m}$ 。

裸纤的强度较差,尤其是柔软性很差,为了达到实际使用的要求,在光纤制造过程中,即裸纤从高温炉拉出后 2 s 内要进行涂覆。经过涂覆后的光纤才能用来制造光缆,才能满足通信传输线路的要求。通常所说的光纤,就是指这种涂覆光纤。涂覆光纤一般分为三层:中心内层为高折射率玻璃芯,中间为低折射率硅玻璃包层,最外层是加强用的树脂涂层。

使用最广泛的两种光纤是紧套光纤和松套光纤,其光纤结构如图 2—2 所示。

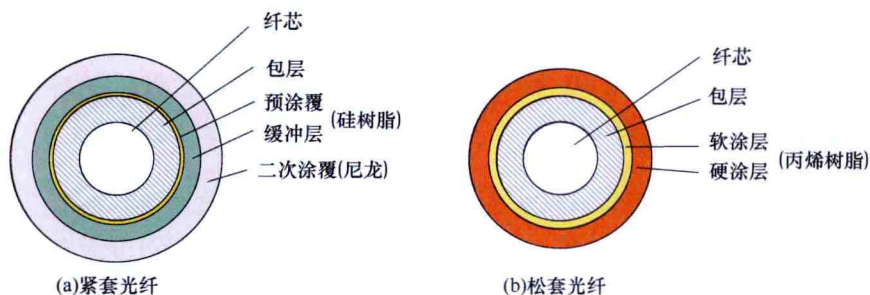


图 2—2 套塑光纤结构

### (二) 紧套光纤结构

紧套光纤是指在光纤涂覆层表面(即一次涂覆层)紧密套上一层被覆层,其中被覆层可由一种或几种材料构成,与光纤同心,并且通常可从光纤玻璃体上与涂覆层一道剥除如图 2—2(a)所示。

具有紧套二次被覆结构的单模或多模光纤称为紧套光纤,紧套光纤的外径标称通常为 0.6 mm 和 0.9 mm 两种。

具有紧套二次被覆结构的光纤,是制造各种室内光缆的基本元件和各种软光缆的基础材料。可直接做尾纤,用于各类光有源或无源器件的连接、仪表和终端设备的连接等。

紧套光纤的特点:具有柔软、易剥离性能;高性能紧套保护一次涂覆光纤;弯曲半径小,机械及环境性能优良;制造的室内光缆可适合于不同的机械和环境要求,如拉力(或压力)偏大、高温(或低温)、弯曲次数多、低烟、无腐蚀、环保、野外、配线箱(架)及普通使用等。

紧套被覆层颜色符合相关标准(GB/T 6995.2—2008、YD/T 901—2009)的规定,依次为:蓝、橙、绿、棕、灰、白、红、黑、黄、紫、粉红、青绿等,也可不另着色,为本色。

### (三) 松套光纤结构

松套光纤是指在一根或几根涂覆光纤外有间隙地松套上一层被覆层,其中被覆层可由一种或几种材料构成管状,易于剥除。松套管内的涂覆光纤可着色或为本色,管内的空隙可填充合适的阻水材料。松套管对光纤能起到抗压、抗拉的保护作用,如图 2—2(b)所示。

光纤采用松套管作为第二次保护,松套光纤的套塑层内可放入单芯、双芯或多芯一次涂敷的光纤。当光纤数较多时,可先用这种结构制成光纤单元。

松套光纤外径较大,但温度性能、抗压性能较好,故应用较广,是制造各种室外光缆的基本元件和各种光缆的基础材料。

松套光纤的特点:具有很好的机械性能和温度特性;松套管材料本身具有良好的耐水解性能和较高的强度。

松套管对光纤能起到抗压、抗拉的保护作用。通常,在松套管内充以特种油膏,以增强

防水性能和起缓冲作用,对光纤进行了关键性保护,具有良好的抗压性和柔软性。

松套管内各涂覆光纤可着色,颜色应不相同。松套管应有识别色标,色标宜为全色,也可为环状或条状的色标。涂覆光纤和松套管的颜色符合相关标准(GB/T 6995.2—2008、YD/T 901—2009)的规定,依次为:蓝、橙、绿、棕、灰、白、红、黑、黄、紫、粉红、青绿等。

## 二、光纤种类

光纤的分类方法较多,可以按材料性质、折射率分布及套塑方式等进行分类。在工程建设中常用的分类是按传输模数量及折射率分布分类。按传输模的数量可分为多模光纤或单模光纤;按折射率分布状况分类,多模光纤可分为阶跃型(突变型)光纤和梯度型(渐变型、聚焦型)光纤,单模光纤为阶跃型光纤。

多模光纤指有多个传输模数量的光在光纤中传播;单模光纤指有单个模数量的光在光纤中传播,其结构及传输情况如图 2—3 所示。

### (一)多模光纤(A类光纤)

多模光纤,也称为 A 类光纤。多模光纤按折射率分布状况分类,分为渐变型(也称梯度型)折射率光纤(A1)、准阶跃型(也称准突变型)折射率光纤(A2.1)、阶跃型(也称突变型)折射率光纤(A2.2、A3)。

由于阶跃型折射率多模光纤的模间色散高,只适用于短途低速通信,现在已逐渐被淘汰。渐变型光纤是为了克服阶跃型模色散的缺点而设计的一种多模光纤,具有衰减低、抗弯曲的特点,其性能优于阶跃型多模光纤。多模光纤一般为渐变型折射率光纤(A1)。

渐变型多模光纤分为 A1a、A1b 和 A1d 类型,光纤芯直径/包层直径分别为:50 / 125  $\mu\text{m}$ 、62.5 / 125  $\mu\text{m}$ 、100 / 140  $\mu\text{m}$ 。2000 年国际电信联盟电信标准化部门 ITU-T 对多模光纤给出最新建议:G. 651 多模光纤。

多模光纤主要应用于局域网和楼宇综合布线,不适用于长距离传输。

### (二)单模光纤(B类光纤)

单模光纤,也称为 B 类光纤。单模光纤具有小的芯径,以确保其传输一种模式的光。然而,单模光纤的包层直径要比芯径大十倍多,以避免光损耗。

由于单模光纤(B类光纤)模间色散很小,所以单模光纤都采用阶跃型。单模光纤分为 B1.1、B1.2、B1.3、B2、B3、B4、B5 类型,单模光纤的中心玻璃芯很细,纤芯直径一般为 8 ~ 10  $\mu\text{m}$ ,对光源的谱宽和稳定性有较高的要求,即谱宽要窄,稳定性要好。在铁路通信工程中常用的是 B1.2、B1.3 和 B4 类型的单模光纤。

根据国际电信联盟电信标准化部门 ITU-T 规定,单模光纤又分 4 种单模光纤,并给出相应的最新建议为:G. 652、G. 653、G. 654 和 G. 655 光纤。国际电信联盟电信标准化部门 ITU-T 标准与国际电工委员会标准 IEC 标准和我国 GB/T 9771.1—6 标准相对应的单模光纤分类对应关系见表 2—1。

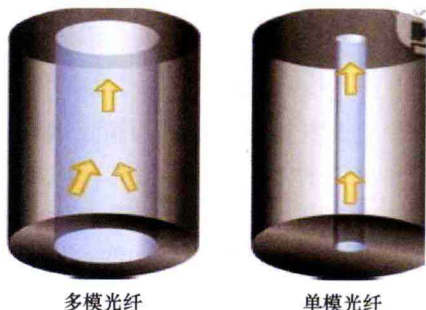


图 2—3 多模、单模光纤光传播图

表 2—1 ITU-T 与 IEC、GB/T 单模光纤的分类名称对应关系

| 单模光纤分类名称         | ITU-T 分类    | IEC 分类 | GB/T 分类 |
|------------------|-------------|--------|---------|
| 非色散位移单模光纤        | G. 652: A、B | B1. 1  | B1. 1   |
| 波长段扩展的非色散位移单模光纤  | G. 652: C、D | B1. 3  | B1. 3   |
| 色散位移单模光纤         | G. 653      | B2     | B2      |
| 截止波长位移单模光纤       | G. 654      | B1. 2  | B1. 2   |
| 非零色散位移单模光纤       | G. 655      | B4     | B4      |
| 宽波长段光传输用非零色散单模光纤 | G. 656      | B5     | B5      |

### 三、光纤传输原理

光纤的传输原理,主要是利用几何光学的反射、折射特性来实现光信号的传送。光在不同的物质中的传播速度是不同的,光从一种物质射向一种物质时,在两种物质的交界面处会产生折射和反射。

#### (一) 光的全反射原理

当光源发出无数条光线由折射率大的介质  $n_1$  (光纤纤芯) 射至折射率小的介质  $n_2$  (光纤包层) 的交界面时,在界面处,一部分光线透射,另一部分光线反射。若界面上光线的入射角大于临界角 ( $\theta_c = \arcsin(n_2/n_1)$ ) 时,光线就不会透射过界面,折射光会消失,入射光全部被反射回来,这就是光的全反射。如图 2—4 所示。

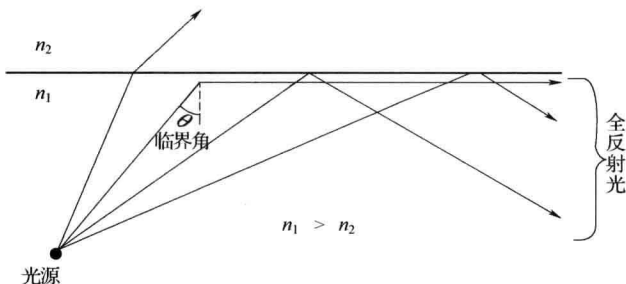


图 2—4 光的全反射原理

不同的物质对相同波长光的折射角度是不同的(即不同的物质有不同的光折射率),相同的物质对不同波长光的折射角度也是不同的。

可见光部分波长范围是:390 ~ 760 nm,大于 760 nm 部分是红外光,小于 390 nm 部分是紫外光。石英光纤按波长分类,可分为短波长和长波长;短波长光纤的波长 850nm,长波长光纤的波长为 1 300 ~ 1 600 nm。多模光纤中应用的工作波长窗口是 850 nm、1 300 nm,单模光纤中应用的工作波长窗口是 1 310 nm、1 550 nm。

#### (二) 阶跃型光纤的光传输原理

阶跃型光纤的光传输原理就是当光源发出的光,以一定的发射角进入光纤断面时,入射角满足大于临界角 ( $\theta_c$ ) 的有效光进入纤芯后,由于包层折射率小,起到“壁垒”作用,使这些

有效光线以全反射方式呈“之”字形在纤芯内不断向前传送。对于进入包层内的部分光线,很快被衰减而不能传得很远。阶跃型光纤的光传输原理及途径如图 2—5 所示。

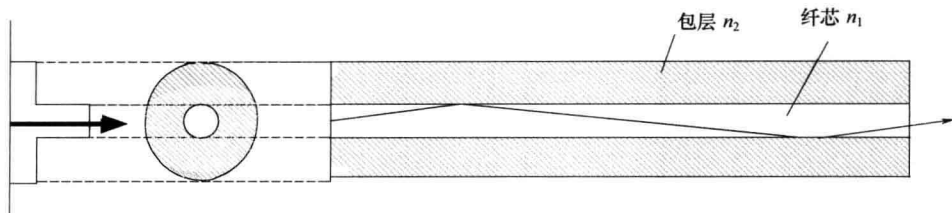


图 2—5 单模光纤(阶跃型)结构及光传输原理

### (三) 渐变型光纤的光传输原理

渐变型光纤是为了克服阶跃型模色散的缺点而设计的一种多模光纤。它的纤芯折射率分布不是均匀的,而是中心最大,随着半径增大而逐渐减小,这种光纤具有自聚焦性能。

渐变型光纤的光传输原理主要利用这种光纤具有自聚焦性能实现光传送,就是当光源发出的光进入纤芯内的有效光进行聚焦,迫使光在纤芯中传播,逐渐地自动向轴线方向回靠拢,形成一个近于正弦曲线的轨迹在纤芯内不断向前传送。渐变型光纤的光传输原理及途径如图 2—6 所示。

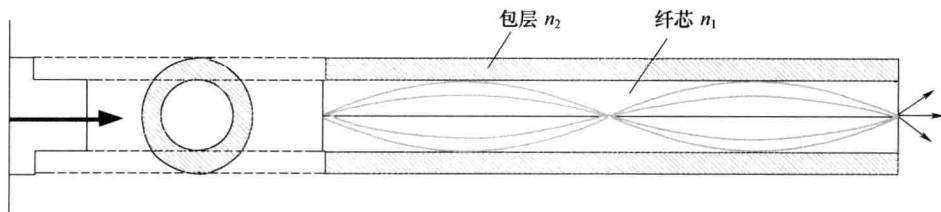


图 2—6 多模光纤(渐变型)结构及光传输原理

## 第二节 光纤主要特性

光纤的特性较多,本节主要介绍光纤的几何特性、光学特性、传输特性、机械特性、温度特性等主要性能。

### 一、几何特性

光纤的几何特性主要包括光纤的纤芯直径、包层直径(即光纤的外径)、芯/包层同心度和不圆度。

光纤的几何特性与施工有紧密的联系,对于多模光纤,熔接时是靠光纤(裸纤)的外径对准来实现连接;对于单模光纤,熔接时是靠纤芯对准来实现连接。

在光纤连接时,严格控制光纤的几何特性参数,可实现光纤的低损耗连接。因此,在工厂生产光纤时,对光纤的几何特性,如对纤芯、包层的尺寸,芯/包层同心度、不圆度等提出了



严格的要求。

### (一) 纤芯直径

纤芯直径,主要是对多模光纤的要求。ITU-T 定义,当纤芯折射率与外边均匀包层的折射率之差达到后者的一定比例的区域叫纤芯。GB/T 12357.1—2004 规定了 A1 类多模光纤的纤芯直径为  $50/62.5\ \mu\text{m} \pm 2.5\ \mu\text{m}$  和  $100\ \mu\text{m} \pm 5\ \mu\text{m}$  (A1d 类)。

由于单模光纤纤芯直径小,不易测出纤芯直径的精确值。另外,基模 LP<sub>01</sub> 场强的分布不局限于纤芯之内,因而单模光纤芯直径的概念在物理上已没有什么意义,单模光纤不规定纤芯直径,而由模场直径代替纤芯直径。

### (二) 包层直径

包层直径指光纤的外径,即指裸光纤的直径。无论多模光纤、单模光纤,外径必须保证合规的尺寸才能保证连接质量。

GB/T 9771 规定,单模光纤的包层直径均为小于或等于  $125\ \mu\text{m} \pm 1\ \mu\text{m}$ 。GB/T 12357.1—2004 标准规定,A1 类多模光纤的包层直径均为小于或等于  $125\ \mu\text{m} \pm 2\ \mu\text{m}$  和  $140\ \mu\text{m} \pm 4\ \mu\text{m}$  (A1d 类)。

### (三) 纤芯/包层同心度和不圆度

纤芯/包层同心度是指纤芯在光纤内所处的中心程度。不圆度包括芯径的不圆度和包层的不圆度。不圆度可用式(2—1)表示:

$$N_c = (D_{\max} - D_{\min}) / D_{co} \quad (2-1)$$

式中  $D_{\max}$  和  $D_{\min}$  ——纤芯(包层)的最大和最小直径;

$D_{co}$  ——纤芯(包层)的标准直径。

光纤的不圆度严重时影响连接对准效果,增大接头损耗。

GB/T 9771—2008 规定,B1.1、B1.3、B4 单模光纤的纤芯/包层同心度误差小于或等于  $0.6\ \mu\text{m}$ ;包层不圆度小于或等于  $1.0\%$ 。GB/T 12357—2004 规定,A1 类多模光纤的纤芯/包层同心度误差小于或等于  $1.5\ \mu\text{m}$ ;包层不圆度小于或等于  $2.0\%$ ,芯不圆度小于或等于  $6.0\%$ 。

## 二、光学特性

光纤的光学特性是决定光纤传输性能的一个重要因素。光纤的光学特性主要包括光纤的折射率分布、数值孔径、模场直径和截止波长。

### (一) 折射率分布

折射率分布是光纤的一个十分重要的基本参数,光纤折射率分布是决定传输特性中的损耗、色散等性能能否达到预期目标的关键。因此对于一根成品光纤实际的折射率分布进行精确的测量是必不可少的。

多模光纤的折射率分布,决定光纤带宽和连接损耗。单模光纤的折射率分布,决定工作波长的选择。

光纤的折射率分布可用式(2—2)表示:

$$n_2 = n_1 [1 - 2\Delta(r/a)^d]^{1/2} \quad (2-2)$$

式中  $n_1$  ——纤芯折射率;