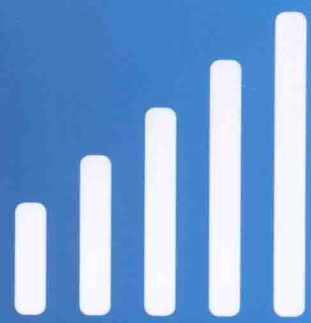
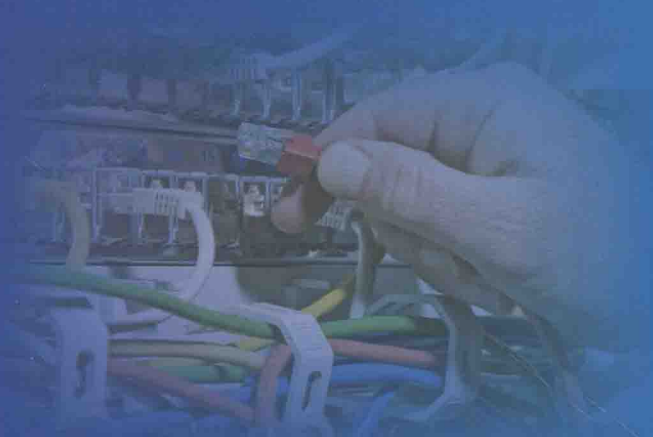


 21世纪高职高专系列规划教材

通信技术专业



 高职高专“十二五”规划教材



# 光缆线路施工与维护

GUANGLANXIANLU SHIGONG YU WEIHU

主 编◎卜爱琴



北京师范大学出版集团  
BEIJING NORMAL UNIVERSITY PUBLISHING GROUP  
北京师范大学出版社

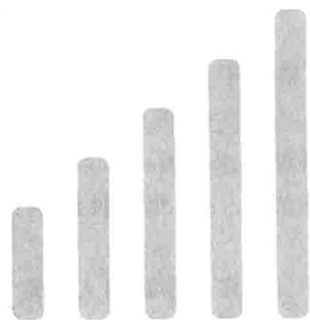
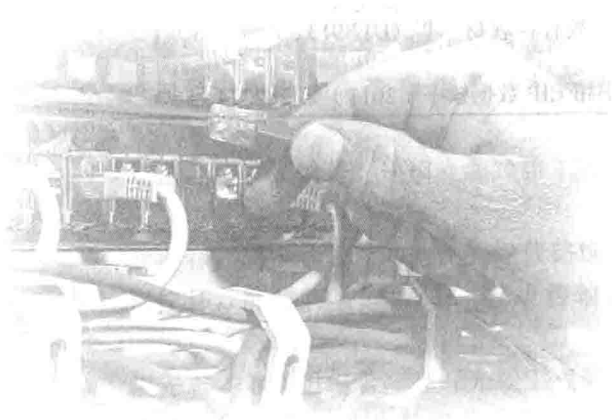


21世纪高职高专系列规划教材

通信技术专业



高职高专“十二五”规划教材



# 光缆线路施工与维护

GUANGLANXIANLU SHIGONG YU WEIHU

主 编◎卜爱琴

参 编◎朱 锦 卢德俊

冯宪慧 郭 瞻

宋东亮



北京师范大学出版集团  
BEIJING NORMAL UNIVERSITY PUBLISHING GROUP  
北京师范大学出版社

---

图书在版编目 ( CIP ) 数据

光缆线路施工与维护 / 卜爱琴主编. —北京: 北京师范大学出版社, 2012.2

(21世纪高职高专系列规划教材)

ISBN 978-7-303-13965-1

I. ①光… II. ①卜… III. ①光缆通信—通信线路—工程施工—高等职业教育—教材②光缆通信—通信线路—维护—高等职业教育—教材 IV. ①TN913.33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 282274 号

---

---

出版发行: 北京师范大学出版社 [www.bnup.com.cn](http://www.bnup.com.cn)

北京新街口外大街 19 号

邮政编码: 100875

印 刷: 保定市中国画美凯印刷有限公司

经 销: 全国新华书店

开 本: 184 mm × 260 mm

印 张: 14.25

字 数: 285 千字

版 次: 2012 年 2 月第 1 版

印 次: 2012 年 2 月第 1 次印刷

定 价: 25.00 元

---

策划编辑: 周光明

责任编辑: 周光明

美术编辑: 高 霞

装帧设计: 国美嘉誉

责任校对: 李 蕊

责任印制: 孙文凯

**版权所有 侵权必究**

反盗版、侵权举报电话: 010—58800697

北京读者服务部电话: 010—58808104

外埠邮购电话: 010—58808083

本书如有印装质量问题, 请与印制管理部联系调换。

印制管理部电话: 010—58800825

# 前言

到目前为止,我国光缆线路的总运营里程已经达到数百万公里,而且光缆线路建设规模的进一步扩大也已成为不争的事实。由于每年光缆线路工程无以计数,光缆线路的维护量也日益增多,故需要大批的光缆线路工程施工、维护和监理人员。

本书是为适应高职高专类通信专业毕业生的岗位需求,与企业合作共同开发的精品课教材。其特点是从职业岗位能力分析入手,以光缆线路施工与维护为载体,以典型工作任务为导向,不仅注重系统性、实用性,而且注重实践性和操作性。通过本书的学习,使学生能够掌握光缆的端别与纤序、光缆的敷设、光缆的接续与成端、光缆的测试以及光缆线路的维护等知识内容和实际操作。为今后从事光缆线路施工与维护工作奠定扎实的基础。

本书共设6个学习情境、17个工作任务,真正体现了基于能力培养的教学目标,具体安排如下:

学习情境一主要介绍了光纤通信的基本概念、光纤传输系统的组成、分类、特点应用;光纤和光缆的结构与选型、光纤的特性、光缆的端别与纤序的识别。

学习情境二介绍了光缆线路的施工特点及流程,以及路由复测、单盘检验和光缆配盘。

学习情境三介绍光缆线路的敷设技术,包括管道光缆的敷设、架空光缆的敷设、直埋光缆的敷设等。

学习情境四介绍了光纤接续、光缆接续与光缆成端的方法与操作,以及光纤熔接机等接续工具仪表的使用。

学习情境五介绍了光缆线路的测试方法及操作,以及常用测试仪表(OTDR、光源和光功率计)的使用。

学习情境六介绍了光缆线路的日常维护、光缆线路障碍的定位与处理、光缆线路割接的操作等。

本书既可作为通信技术专业及相关专业高职高专学生的教材,也可作为光缆线路工程维护人员的参考用书。

本书由卜爱琴主编,并编写学习情境四、学习情境五,朱锦编写学习情境一的任务一,卢德俊编写学习情境一的任务二,冯宪慧编写学习情境二、学习情境三,郭瞻、宋东亮(中铁六局电务工程有限公司北京分公司)编写学习情境六。全书由卜爱琴统稿。

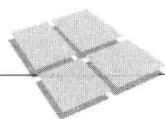
本书在编写过程中参考了有关作者的文献和资料,在此一并表示感谢。

由于编者水平有限加之时间仓促,书中难免存在错误和不妥之处,敬请广大读者批评指正。

编者

2012年1月

1



|                           |              |                            |              |
|---------------------------|--------------|----------------------------|--------------|
| 3.4.1 任务目的与要求 .....       | (92)         | 5.2.3 任务实施 .....           | (171)        |
| 3.4.2 任务资讯 .....          | (92)         | 5.2.4 任务总结 .....           | (176)        |
| 3.4.3 任务实施 .....          | (93)         | <b>学习情境六 光缆线路的维护与故障</b>    |              |
| 3.4.4 任务总结 .....          | (94)         | <b>处理 .....</b>            | <b>(178)</b> |
| <b>学习情境四 光缆的接续与成端 ...</b> | <b>(96)</b>  | <b>6.1 任务一 光缆线路的维护</b>     |              |
| 4.1 任务一 光纤的接续 ...         | (96)         | .....                      | (178)        |
| 4.1.1 任务目的与要求 .....       | (96)         | 6.1.1 任务目的与要求 .....        | (178)        |
| 4.1.2 任务资讯 .....          | (96)         | 6.1.2 任务资讯 .....           | (178)        |
| 4.1.3 任务实施 .....          | (102)        | 6.1.3 任务实施 .....           | (183)        |
| 4.1.4 知识扩展：带状光纤的接续        |              | 6.1.4 任务总结 .....           | (186)        |
| .....                     | (111)        | <b>6.2 任务二 光缆线路的故障</b>     |              |
| 4.1.5 任务总结 .....          | (114)        | <b>处理 .....</b>            | <b>(186)</b> |
| 4.2 任务二 光缆的接续 ...         | (114)        | 6.2.1 任务目的与要求 .....        | (186)        |
| 4.2.1 任务目的与要求 .....       | (114)        | 6.2.2 任务资讯 .....           | (186)        |
| 4.2.2 任务资讯 .....          | (114)        | 6.2.3 任务实施 .....           | (191)        |
| 4.2.3 任务实施 .....          | (122)        | 6.2.4 任务总结 .....           | (203)        |
| 4.2.4 任务总结 .....          | (126)        | <b>6.3 任务三 光缆线路的割接</b>     |              |
| 4.3 任务三 光缆的成端 ...         | (126)        | .....                      | (204)        |
| 4.3.1 任务目的与要求 .....       | (126)        | 6.3.1 任务目的与要求 .....        | (204)        |
| 4.3.2 任务资讯 .....          | (126)        | 6.3.2 任务资讯 .....           | (204)        |
| 4.3.3 任务实施 .....          | (128)        | 6.3.3 任务实施 .....           | (210)        |
| 4.3.4 任务总结 .....          | (133)        | 6.3.4 任务总结 .....           | (213)        |
| <b>学习情境五 光缆线路的测试和竣工</b>   |              | <b>附表一 接头标石/杆石—缆长/纤长</b>   |              |
| <b>验收 .....</b>           | <b>(135)</b> | <b>对照表 .....</b>           | <b>(215)</b> |
| 5.1 任务一 光缆线路的测试           |              | <b>附表二 割接纤芯纤序对照表 .....</b> | <b>(216)</b> |
| .....                     | (135)        | <b>附表三 调纤方案、割接步骤记录表</b>    |              |
| 5.1.1 任务目的与要求 .....       | (135)        | .....                      | (217)        |
| 5.1.2 任务资讯 .....          | (135)        | <b>附表四 光缆中继段纤芯系统开放</b>     |              |
| 5.1.3 任务实施 .....          | (157)        | <b>情况表 .....</b>           | <b>(218)</b> |
| 5.1.4 任务总结 .....          | (164)        | <b>附表五 一级传输干线割接方案请示</b>    |              |
| 5.2 任务二 光缆线路的竣工           |              | .....                      | (219)        |
| <b>验收 .....</b>           | <b>(165)</b> | <b>附图一 光缆截面图及尺寸 .....</b>  | <b>(220)</b> |
| 5.2.1 任务目的与要求 .....       | (165)        | <b>参考文献 .....</b>          | <b>(221)</b> |
| 5.2.2 任务资讯 .....          | (166)        |                            |              |

## 学习情境一 认识光纤传输网

光纤通信是 20 世纪 70 年代初期出现的一种新的传输技术。由于其具有传输频带宽、通信容量大、传输损耗小、中继距离长、抗干扰能力强、成本低等优点, 光纤通信得到了迅速发展, 目前已成为现代通信网中最重要的信息传输方式。

### 1.1 任务一 认识光纤传输系统

#### 1.1.1 任务目的与要求

1. 掌握光纤通信的概念。
2. 了解光纤通信的发展史。
3. 掌握光纤传输系统的组成。
4. 了解光纤传输系统的分类。
5. 掌握光纤传输系统的工作窗口。
6. 掌握光纤传输系统的特点。
7. 了解光纤传输系统的应用。

#### 1.1.2 任务资讯

##### 一、光纤通信的基本概念

光纤通信具有通信容量大、中继距离长、抗干扰能力强、成本低等优点, 在短短的三四十年中在世界范围内得到了广泛的应用, 并成为通信网最主要的传输手段。其应用场合已逐步从长途干线、市话局间中继转入用户接入网。

光纤传输网是以光纤通信为基础的传输网。而光纤通信是以光波作为载波、以光纤作为传输介质的通信方式。

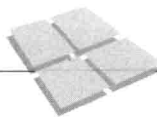
光纤通信是 20 世纪 60 年代发展起来的高新技术。它和计算机技术的高速发展彻底地改变了人类的生活方式。

1960 年, 美国科学家梅曼(Maiman)发明了世界上第一台红宝石激光器, 1962 年研制成功了半导体激光器, 并于 1970 年实现了连续波工作, 给光纤通信的实用化带来了极大希望。

1966 年, 英国标准电信研究所的英籍华人高锟发表了首篇开创性和奠基性论文——光频率的介质纤维表面波导。他指出: 如果能消除玻璃中的各种杂质, 就有可能制成衰减为 20dB/km 的低损耗光纤。从而使光纤远距离传输光信号成为可能。

1970 年美国康宁公司首先制成了世界上第一根衰减为 20dB/km 的低损耗石英光纤, 同年, 美国贝尔实验室首次研制出在室温下连续工作的双异质结注入式半导体激光器, 为光纤通信的实用化拉开序幕。

随后, 光纤的损耗不断降低, 1973 年降至 4dB/km, 1974 年降到了 2dB/km, 1976 年又获得了 1.31 $\mu\text{m}$ 、1.55 $\mu\text{m}$  两个低损耗的长波长窗口, 同年, 美国首先在亚特兰大



成功地进行了世界上第一个速率为 45Mb/s、传输距离为 10km 的光纤传输系统的现场试验,使光纤通信向实用化迈出了第一步。

1980 年  $1.55\mu\text{m}$  窗口处的光纤损耗低至 0.2dB/km,已接近理论值。到 80 年代中期,已能获得小于 0.4dB/km( $1.31\mu\text{m}$  处)和 0.25dB/km( $1.55\mu\text{m}$  处)的低损耗商用光纤。与此同时,为促进光纤传输系统的实用化,人们又及时地开发出适用于长波长的光源,即激光器、发光管、光检测器。应运而生的光纤成缆、光无源器件和性能测试及工程应用仪表等技术的日趋成熟,都为光纤光缆作为新的媒质奠定了良好的基础。至 80 年代初,光纤传输系统已在各国大规模推广应用。1990 年,565Mb/s 单模光纤传输系统进入商用化阶段,并着手进行零色散位移单模光纤、波分复用及相干光通信的现场试验,而且已陆续制定了同步数字体系 SDH 的技术标准。1993 年,622Mbit/s 的 SDH 光纤通信系统进入商用化。1995 年,2.5Gb/s 的 SDH 光纤通信系统进入商用化。1998 年,10Gb/s 的 SDH 光纤传输系统进入商用化。2000 年,单波容量为 10Gb/s、总容量为 320Gb/s 的 DWDM 系统进入商用化。

总之,自 1970 年至今虽然只有短短的四十年时间,但光纤传输技术却取得了极其惊人的发展,用带极宽的光波作为传送信息的载体以实现通信,这是几百年来人们梦寐以求的幻想在今天已成为现实。然而就目前的光纤通信而言,其实际应用仅是其潜在能力的 2% 左右,尚有巨大的潜力等待人们去开发利用。因此,光纤通信技术并未停滞不前,而是向更高水平、更高阶段发展。

## 二、光纤传输系统的基本组成

光纤传输系统是以光波作为载波,以光纤作为传输介质的通信系统。要使光波成为携带信息的载体,必须在发送端对其进行调制,完成电/光转换;而在接收端把信息从光波中检测出来,完成光/电转换。光纤传输系统的基本组成如图 1-1 所示,它是由光发射机、光纤、光中继器和光接收机组成。

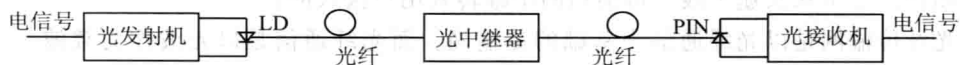


图 1-1 光纤传输系统的基本组成

### 1. 光发射机

光发射机即发端光端机,其主要作用是将来自于电端机的电信号转变为光信号,并将光信号送入到光纤中传输。

光发射机的核心器件是光源,其性能好坏将对光纤传输系统产生很大的影响。目前,光纤传输系统常用的光源有半导体激光器(LD)和半导体发光二极管(LED),半导体激光器(LD)性能较好,价格较贵;而半导体发光二极管(LED)性能稍差,但价格较低。

### 2. 光纤光缆

光纤是光纤通信的传输介质,其作用是将光信号由发端传送到收端。光纤通信使用的光纤通常是由石英玻璃制成的,由纤芯和包层组成。为使光信号局限在纤芯中传输,要求纤芯的折射率略大于包层的折射率。

为了保护光纤,在光纤拉丝成型的同时就在裸光纤外加了一层涂覆层,根据需要

有时还要另加套塑层。为了使光纤能适应各种敷设条件和环境,还必须把光纤和其他元件组合起来制成光缆才能在实际工程中使用。

光纤的主要传输特性是损耗和色散,光纤的损耗限制着光纤通信系统的传输距离,而色散则影响光纤通信系统的通信容量和传输距离。

### 3. 光接收机

光接收机即收端光端机,其主要作用是将光纤传送过来的光信号转变为电信号,然后经进一步的处理再送到接收端的电端机去。

光接收机的核心器件是光电检测器,常用的光电检测器有 PIN 光电二极管和 APD 雪崩光电二极管,其中 APD 有放大作用,但其温度特性差,电路复杂。

### 4. 光中继器

光信号在光纤中传输一定距离后,由于受到光纤损耗和色散的影响,光信号的能量会被衰减,波形也会产生失真,从而导致通信质量恶化。为此,在光信号传输一定距离后就要设置光中继器,其作用是对衰减了的光信号进行放大,恢复失真了的波形。

## 三、光纤传输系统的分类

光纤传输系统可以根据系统所传输的信号形式、光波的波长和光纤的类型进行不同的分类。

### 1. 按传输信号分类

根据传输信号形式的不同,可将光纤传输系统分为数字光纤传输系统和模拟光纤传输系统。

#### (1) 数字光纤传输系统

在光纤传输系统中,输入电信号为数字信号的传输系统即为数字光纤传输系统,数字光纤传输系统是光纤通信的主要传输方式。数字通信的优点是抗干扰能力强,无噪声积累,易于集成,利于与计算机结合等,但其缺点是所占的频带宽,而光纤的带宽比金属电缆要宽许多,弥补了数字通信所占频带宽的缺点。目前各国在公用通信网中的长途干线 and 市内局间中继线路均采用数字光纤传输系统作为主要传输方式,以实现传输网的数字化。

#### (2) 模拟光纤传输系统

在光纤传输系统中,输入电信号为模拟信号的传输系统即为模拟光纤传输系统,这种系统的缺点是光电变换时噪声较大。在长距离传输时,采用光中继器进行信号放大时将使噪声积累,故只能应用在短距离传输线路上。在公用通信网中的用户部分,可用这种方式传输宽带视频信号。模拟光纤通信最主要的优点是不需要数字传输系统中的模/数转换和数/模转换,故比较经济。

### 2. 按传输波长分类

根据传输波长的不同,可以将光纤传输系统分为短波长光纤传输系统和长波长光纤传输系统。

#### (1) 短波长光纤传输系统

短波长光纤传输系统的工作波长为  $0.8 \sim 0.9 \mu\text{m}$ ,具体工作窗口为  $0.85 \mu\text{m}$ ,由于其线路损耗大,传输距离短,几乎不再使用。



## (2)长波长光纤传输系统

长波长光纤传输系统的工作波长为  $1.0\sim 1.8\mu\text{m}$ ，包括  $1.31\mu\text{m}$  和  $1.55\mu\text{m}$  两个窗口。这是目前普遍采用的光纤传输系统，其损耗小，中继距离长。

## 3. 按光纤传输模式数量分类

根据光纤传输模式数量的不同，可以将光纤传输系统分为多模光纤传输系统和单模光纤传输系统。

### (1)多模光纤传输系统

多模光纤传输系统是以多模光纤作为传输介质的光纤传输系统，早期应用较多，目前应用较少，只在部分局域网中使用，其传输距离短、带宽窄。

### (2)单模光纤传输系统

单模光纤传输系统是以单模光纤作为传输介质的光纤传输系统，其传输距离长，传输容量大，目前被广泛应用于长途以及大容量的通信系统中。

## 四、光纤传输系统的工作窗口

光波与无线电波相似，也是一种电磁波，只是它的频率比无线电波的频率高得多，电磁波的波谱如图 1-2 所示。由图可知，红外线、可见光和紫外线均属于光波的范畴，其波长范围为  $300\sim 6\times 10^{-3}\mu\text{m}$ 。可见光是人眼能看见的光，它是由红、橙、黄、绿、蓝、靛、紫七种颜色组成的连续光谱，其波长范围为  $0.39\sim 0.76\mu\text{m}$ ，其中红光的波长最长，而紫光的波长最短。红外线是人眼看不见的光，波长范围为  $0.76\sim 300\mu\text{m}$ ，一般又分为近红外区( $\lambda=0.76\sim 15\mu\text{m}$ )、中红外区( $\lambda=15\sim 25\mu\text{m}$ )和远红外区( $\lambda=25\sim 300\mu\text{m}$ )。紫外线也是人眼看不见的光，波长范围为  $0.39\sim 6\times 10^{-3}\mu\text{m}$ 。

目前光纤传输系统所用光波的波长范围为  $0.8\sim 1.8\mu\text{m}$ ，属于电磁波谱中的近红外区。在光纤通信中，常将  $0.8\sim 0.9\mu\text{m}$  称为短波长，而将  $1.0\sim 1.8\mu\text{m}$  称为长波长， $2.0\mu\text{m}$  以上称为超长波长。目前，光纤传输系统采用的三个工作窗口分别是：短波长的  $0.85\mu\text{m}$ ，长波长的  $1.31\mu\text{m}$  和  $1.55\mu\text{m}$ 。

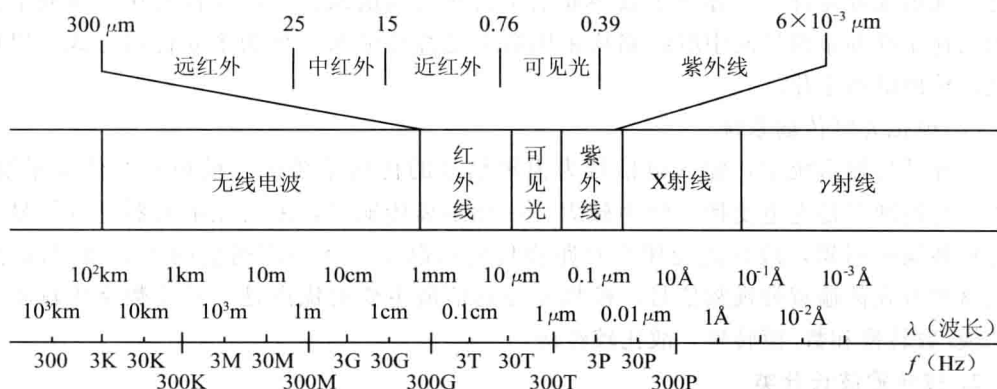


图 1-2 光在电磁波谱中的位置

图 1-2 也表示出了与波长范围相对应的频率范围。光在真空中的传播速度约为  $3\times 10^8\text{m/s}$ ，根据波长、频率和光速之间的关系式

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (1-1)$$

可计算出对应光纤通信所用光波的频率范围。由式(1-1)可求得相应光波的频率范围为  $1.67 \sim 3.75 \times 10^{14}$  Hz。可见光纤通信所用光波的频率是非常高的,正因为如此,光纤通信才具有其它通信无法比拟的巨大的通信容量。

### 五、光纤传输系统的特点

光纤传输与电缆传输的主要区别有两点:一是用光波作为载波传输信号;二是用光纤构成的光缆作为传输线路。因此光纤传输系统中起主导作用的是产生光波的激光器和传输光波的光纤。

与电缆或微波等电通信方式相比,它具有无法比拟的突出特点。

#### 1. 传输频带宽, 通信容量大

由于光纤通信使用的光波具有很高的频率(约为  $10^{14}$  Hz),因此光纤通信具有很大的通信容量。从理论上讲,一根仅有头发丝粗细的光纤可以同时传输 100 亿个话路。虽然目前远未达到如此高的传输容量,但用一根光纤同时传输 50 万个话路(40Gb/s)的试验已经取得成功,它比传统的同轴电缆、微波等要高出几千乃至几十万倍以上。一根光纤的传输容量如此巨大,而一根光缆中可以包括几十根直至上千根光纤,如果再加上波分复用技术把一根光纤当作几十根、几百根光纤使用,其通信容量之大就更加惊人了。

#### 2. 中继距离长

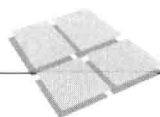
由于光纤的衰减很小,所以能够实现很长的中继距离。目前石英光纤在  $1.31\mu\text{m}$  处的衰减可低于  $0.35\text{dB/km}$ ,在  $1.55\mu\text{m}$  处的衰减可低于  $0.2\text{dB/km}$ ,这比目前其他通信线路的衰减都要低,因此光纤传输系统的中继距离也较其他通信线路构成的系统长得多,如表 1-1 所示。

表 1-1 各种传输线路的中继距离

| 传输线路类型         | 最大通信容量(路) | 中继距离(km) |
|----------------|-----------|----------|
| 大同轴电缆          | 10800     | 1.5      |
| 小同轴电缆          | 3600      | 2.1      |
| 微波线路           | 3600      | 40       |
| 140Mb/s 光纤通信系统 | 1920      | 100      |
| 2.5Gb/s 光纤通信系统 | 30240     | 50~60    |

#### 3. 抗电磁干扰

我们知道,电缆是导电介质,所以在电缆内部,相邻芯线之间电磁场的互相耦合使之可能产生严重的串话,不管采取多么复杂的扭绞措施也不能完全消除。电缆的外部感应就更为严重,自然界的雷电、高压输电线、甚至无线电广播的电磁场都可能对电缆中的信号产生明显的影响。为了消除外部的电磁干扰,金属电缆常配有笨重而昂贵的金属屏蔽层。而光纤是石英玻璃丝,是一种非导电介质,交变电磁波不会在其中产生感生电动势,即光纤不会受到电磁干扰。因而光纤通信的抗电磁干扰能力强,特别适合在电力、电气化铁路等部门使用。



### 4. 保密性能好, 无串话

对传输系统的重要要求之一是保密性好。然而, 随着科学技术的发展, 电通信方式很容易被人窃听。光纤通信与电通信不同, 由于光纤的特殊设计, 光纤中的光波被限制在光纤的纤芯中传送, 很少会跑出光纤之外的。即使在弯曲半径很小的位置, 泄漏光功率也是十分微弱的。所以光纤的保密性能好, 无串话。

### 5. 原材料资源丰富, 节省有色金属

制造电缆使用铜材料, 而地球上的铜资源非常有限。制造光纤最基本的原材料是二氧化硅( $\text{SiO}_2$ ), 而二氧化硅在地球上的储藏量极为丰富, 几乎是取之不尽、用之不竭的, 因此其潜在价格是十分低廉的。

### 6. 体积小、重量轻、便于敷设和运输

光纤的芯径很细, 多模光纤的芯径为  $50\mu\text{m}$  左右, 和人的头发丝差不多; 单模光纤的芯径在  $10\mu\text{m}$  左右, 纤芯加上包层后直径一般为  $125\mu\text{m}$ , 只有对称电缆的  $1/3 \sim 1/4$ , 同轴电缆的  $1/100$ 。成缆后, 8 芯光缆的横截面直径约为  $10\text{mm}$ , 而标准同轴电缆的横截面直径为  $47\text{mm}$ 。目前, 利用光纤通信的这个特点, 在市话中继线路中成功解决了地下管道的拥挤问题, 节省了地下管道的建设投资。

光缆不仅直径细, 而且其重量也比电缆轻得多。例如, 18 管同轴电缆每米的重量为  $11\text{kg}$ , 而同等容量的光缆仅重  $90\text{g}$ , 重量轻使得运输和敷设都比较方便。

光纤传输系统虽具有上述的许多优点, 但事物都是一分为二的, 它也有抗拉强度低、光纤连接困难、在分路、耦合不方便, 弯曲半径不能太小等缺点。但应当指出, 随着研究的深入和技术的发展, 光纤通信的这些缺点都已被克服了, 已经不再影响光纤传输系统的推广和应用。在此介绍这些缺点的目的, 是要求我们在实际应用时尽量避免这些问题的发生。

## 六、光纤传输系统的应用

光纤可以传输数字信号, 也可以传输模拟信号。光纤在公用电信网、广播电视网与计算机网, 以及其他数据传输系统中, 都得到了广泛应用。光纤干线传输网和接入网发展迅速, 是当前研究开发应用的主要目标。

光纤传输系统的各种应用可概括如下。

### 1. 长途干线传输网

光纤传输最早应用于市内电话局之间的中继线路, 继而广泛地用于长途干线网上, 成为宽带通信的基础。从 1986 年起, 我国开始了大规模的、以光纤传输为主的长途干线通信网的建设。1989 年底开通的“宁汉渝光缆数字通信工程”是我国最早开通的长途干线网络, 它是“七·五”国家重点建设项目之一, 为当时首条长途光缆工程。该系统起点南京, 经武汉, 终点重庆, 全长  $2200\text{km}$  (东西方向)。横贯华东、中南、西南三大区的江苏、安徽、江西、湖北、四川五省 16 个大、中城市。到 2000 年年底, 在全国已完成约 8 万公里的一级干线光缆的建设, 形成了以 SDH  $2.5\text{Gb/s}$  为主的“八纵八横”的省级光纤传输网络。具有承载语音、数据、图像等多种业务的能力。2001 年, 我国长途干线传输网中又引入了以 SDH  $10\text{Gb/s}$  为基础的 WDM 系统, 32、40、80 波系统也开始在长途传输网上应用。

对于铁路通信网, 其第一条全数字化的长途干线光纤传输系统——大秦线(大同—

秦皇岛)于1988年开通,该系统全长630km,中继距离为40km左右。随后又相继开通了北京—郑州、郑州—武汉、济南—青岛、北京—九龙等多条铁路光纤传输系统。到2003年,铁通公司形成了由京沪穗、东南、东北、西南、西北五大光缆环网组成的高速骨干光传输网,该网络采用WDM技术,传输速率达400Gb/s,覆盖全国31个省、市、自治区的绝大部分城市,总长10万千米。

## 2. 计算机网络

在信息技术日益发达的今天,数据传输极为重要,计算机互联网正在极大地改变着我们的生活。网络技术正成为信息技术产业的焦点和信息产业发展的主要推动力量。而另一方面,随着DWDM技术的日渐成熟和实用,超大容量的光纤传输使得宽带网络成为现实,对提高计算机网络的传输容量,提高网络业务的实用性起到了决定性的作用。

同时随着办公环境的计算机网络的传输速率不断发展,高速率到桌面的应用越来越普遍,计算机局域网的速度也由10Mbps、100Mbps发展到1Gbps,传统的铜缆已经不适合局域网的高速发展,随之而来的是光纤在局域网中的应用越来越广泛。近几年,局域网、校园网或园区网的网络布线中,几乎都铺设了光缆,而且光缆铺设所占的比例越来越大。

## 3. 有线电视网

电视信号的干线传输是整个CATV系统工程的重要环节,此环节的传输媒介的选择及技术应用,会极大地影响接收终端图像质量的优劣,因此传输技术是关键。目前,CATV工程中通常采用HFC网络传输技术。HFC(Hybrid Fiber Coaxial)全称为“光纤同轴混合有线电视网络”,电视信号的干线传输是通过光缆实现的,运用光纤技术可使整个有线传输频道内的信号具有相同损耗,不需均衡器调节,而且损耗很小,不随温度的变化而变化。

## 4. 综合业务光纤接入网

过去的20年,光纤传输系统在长途通信网和市内局间中的应用大大降低了成本和提高了传输质量,但用户接入网仍以模拟铜线为主要传输媒介,成为现代电信网的瓶颈。因此接入网的数字化、宽带化和智能化就成为中国电信网发展建设的重要任务。目前,光纤接入网建设进展也很快,以广东为例,由光纤所提供的用户线已超过30%,在大城市光纤到大楼和住宅小区的工作正加速进行。

另外,由于光纤通信具有的独特优点,使其不仅可以应用在通信的主干线路中,还可以应用在电力通信控制系统中,进行工业监测、控制,而且在军事领域的用途也越来越广泛。

### 1.1.3 任务实施

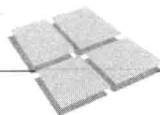
#### 一、任务描述

通过了解我国长途传输网、校园网和光纤接入网的网络结构,建立对光纤传输系统的初步认识。

#### 二、实践操作

##### 1. 认识长途干线传输网

我国长途干线传输网是以光缆为主,微波和卫星为辅的立体传输网络,网络节点



已经覆盖中国所有本地网中心以上城市。现有长途干线传输网按省际一级长途干线和省内二级长途干线进行规划、建设和维护。

图 1-3(a)所示为某省二级长途干线传输网的结构图。它是为适应该省数据业务迅速发展、对网络带宽的巨大需求而建立的。它不仅可解决目前数据传输通道紧张的问题,充分满足广大居民用户及集团用户快速上网的需求,而且为该省电信公司今后宽带业务的发展预留了充足的扩展空间。该省干线传输网采用 320Gb/s WDM 光纤传输系统。可接入 STM-64/16/4 各种速率的 SDH 业务、IP、ATM 及 GE 等多种数据业务。整个网络由 WDM 设备及光线路放大设备组成南、北两个大环,此外,还有两个点对点的连接。

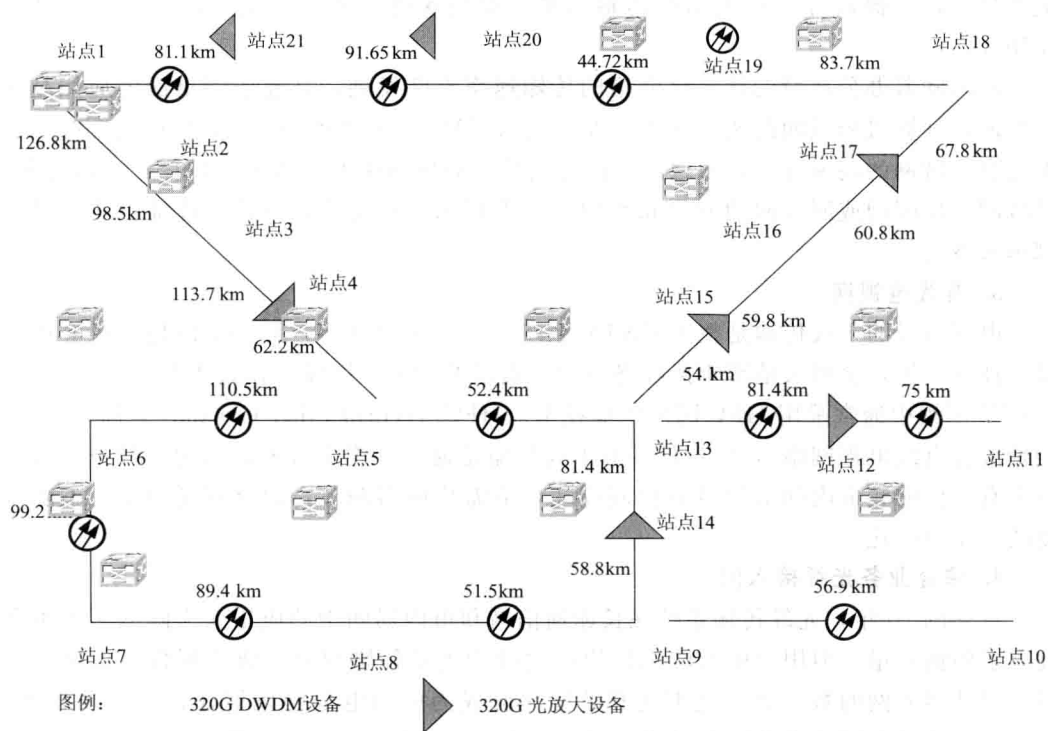


图 1-3(a) 某省长途干线传输网结构

图 1-3(b)为铁路某干线传输网图。系统采用 SDH 体制,整个传输网分为骨干层和接入层。骨干层有 5 个节点,包括 A 站、B 站、C 站、D 站和 E 站,组成一个 SDH 2.5Gb/s 的复用段 1+1 保护的链路。接入层有 5 个汇聚节点,包括 A 站、B 站、C 站、D 站和 E 站,组成一条 622Mb/s 的复用段 1+1 保护的链路。在骨干层与接入层之间各有一条 SDH 622Mb/s 的复用段 1+1 保护链路互连,以便接入层的业务进入到骨干层。

接入层有多个接入节点(图中画出了 16 个),组成 4 个 SDH 622Mb/s 二纤通道保护环。用来实现铁路调度业务、电话业务、信号业务、电力业务、客票业务以及视频等业务的接入。

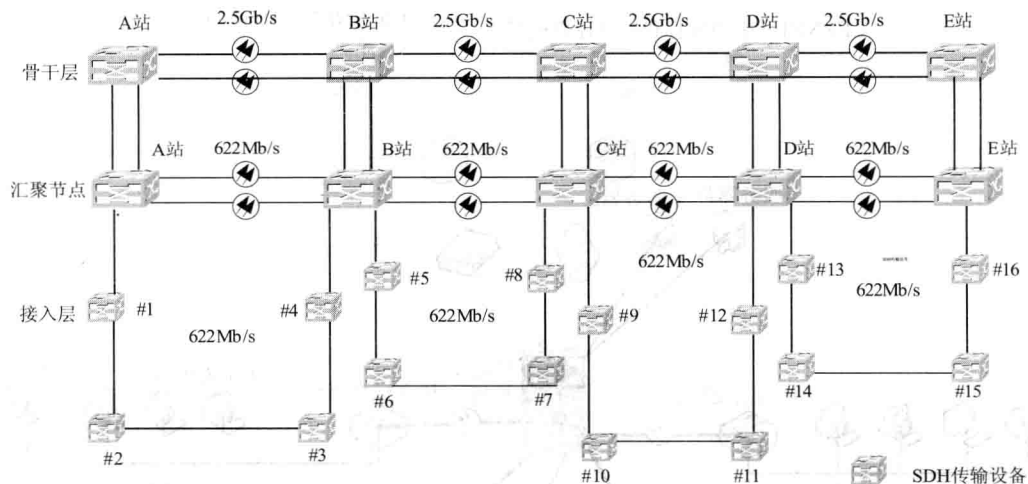


图 1-3(b) 铁路某干线传输网结构

## 2. 认识校园网

计算机网络是计算机技术与通信技术相结合的产物。计算机网络技术对各行各业的发展影响深远。计算机网络实现了独立计算机之间的通信，不仅实现了资源共享，更使人与人之间的沟通更加方便。

校园网是指利用网络设备、通信介质和组网技术与协议以及各种系统管理软件和应用软件，将校园内的计算机和各种终端设备有机地集成在一起，并应用于教学、科研、学校管理、信息资源共享和远程教学等方面的计算机局域网系统。

图 1-4 为某高校校园网网络拓扑结构图。该校园网采用两条百兆光纤连接到 Internet 网中，一条为网通公司；另一条则由电信公司提供。采用两条光纤的目的主要有：一方面，提高网络的稳定性，两条线路中的任一条出现了问题都不会影响整个校园网络的正常运行。另一方面，由于每一家支持的业务有限，任何一家都不可能提供所有的网络服务。

该校园网的总体架构分为核心层和接入层。核心层采用千兆光纤将各教学楼的接入交换机连接到核心交换机上，接入层采用百兆速率接入到用户的桌面。真正实现千兆到楼(FTTB)，百兆到桌面的目标。

## 3. 认识光纤接入网

随着现代通信网的不断发展，核心网络的传输技术和交换技术都发生了巨大的变化，而通信网的边缘部分，即从本地交换机到用户之间的接入网越来越不适应通信的发展需求，已成为整个通信网的瓶颈。随着人们对综合、宽带业务需求的不断增加及各种新技术的不断涌现，接入网技术应运而生。

光纤接入网就是采用光纤传输技术的接入网，泛指在接入网的本地交换机与用户之间全部或部分采用光纤传输技术的网络。

根据光纤深入用户群的程度，光纤接入网可分为 FTTC(光纤到路边)、FTTZ(光纤到小区)、FTTB(光纤到大楼)、FTTO(光纤到办公室)和 FTTH(光纤到户)等，它们统称为 FTTx。FTTB 与 FTTC 的结构相似，区别在于 FTTC 的 ONU 放置在路边，

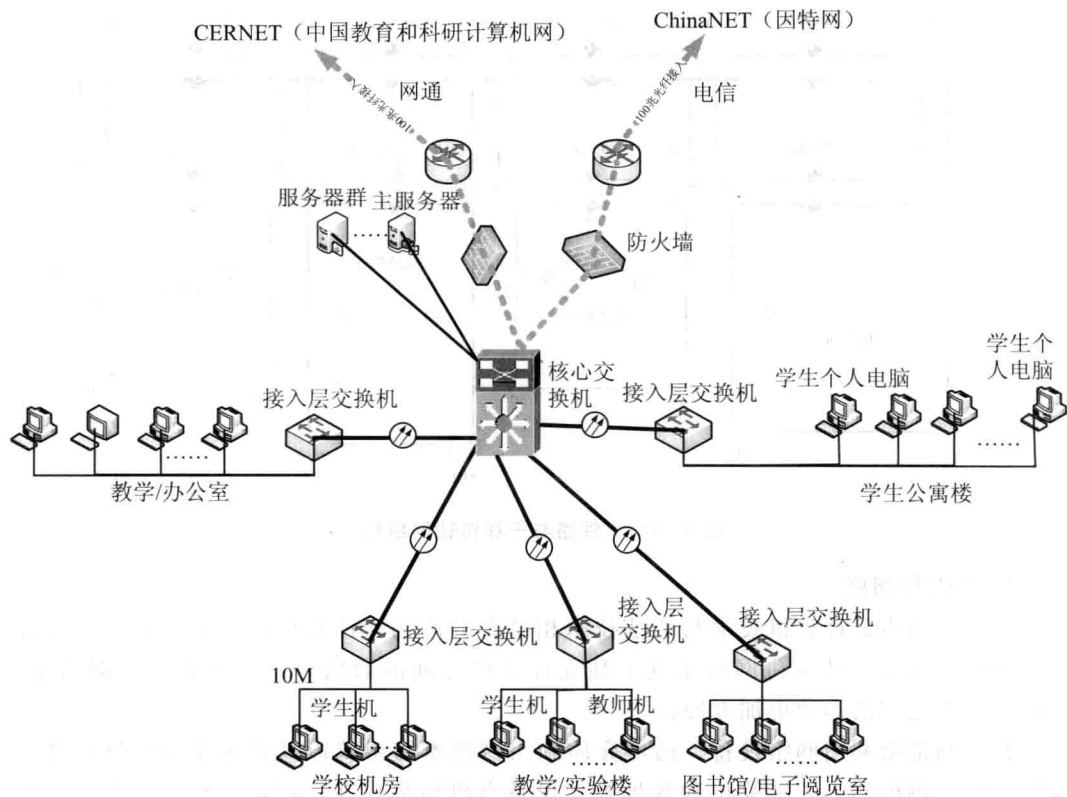
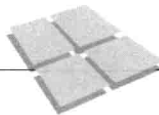


图 1-4 某学院校园网网络拓扑结构图

而 FTTB 的 ONU 放置在大楼内。FTTH 可以实现从端局到用户家中 ONU 的全程光纤连接，特点是容量大，可以及时引入新业务，但成本比较高。图 1-5 即为 FTTH 应用场景之一。

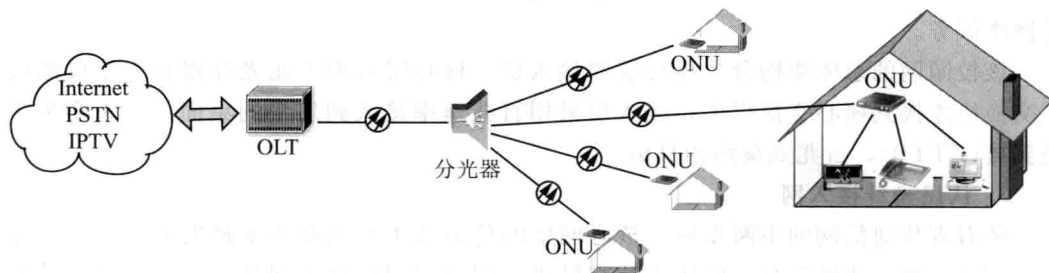


图 1-5 FTTH 应用场景

#### 1.1.4 知识扩展：光纤通信的发展趋势

光纤通信的诞生与发展是通信史上的一次重要革命。对光纤通信而言，超高速、超大容量和超长距离传输一直是人们追求的目标，而全光网络也是人们不懈追求的梦想。光纤通信的发展趋势主要有以下几个方面。

### 1. 向超高速系统发展

从过去 20 多年的电信发展史看,网络容量的需求和传输速率的提高一直是一对主要矛盾。传统光纤通信的发展始终按照时分复用(TDM)方式进行,每当传输速率提高 4 倍,传输每比特的成本大约下降 30%~40%;因而高比特率系统的经济效益大致按指数规律增长,这就是为什么光纤通信系统的传输速率在过去 20 多年来一直在持续增加的根本原因。目前商用系统已从 45Mbit/s 增加到 10Gbit/s,其速率在 20 年时间里增加了 200 倍,比同期微电子技术的集成度增加速度还快得多。高速系统的出现不仅增加了业务传输容量,而且也为各种各样的新业务,特别是宽带业务和多媒体提供了实现的可能。目前 10Gbit/s 系统已开始大批量装备网络。

### 2. 向超大容量 WDM 系统演进

目前,采用时分复用系统的扩容潜力已尽,然而光纤的 200nm 可用带宽资源仅仅利用了不到 1%,99%的资源尚待发掘。如果将多个不同波长的光信号同时在一根光纤上传送,则可大大增加光纤的信息传输容量,这就是波分复用(WDM)的基本思路。采用波分复用系统的主要优点是:

(1)可以充分利用光纤的巨大带宽资源,使容量可以迅速扩大几倍至上百倍;

(2)在大容量长途传输时可以节约大量光纤和再生器,从而大大降低了传输成本;

(3)与信号速率及电调制方式无关,是引入宽带新业务的方便手段;

(4)利用 WDM 网络实现网络交换和恢复,可望实现未来透明的、具有高度生存性的光联网。

鉴于上述应用的巨大好处及近几年来技术上的重大突破和市场的驱动,波分复用系统发展十分迅速。目前全球实际敷设的 WDM 系统已超过 3000 个,而实用化系统的最大容量已达 320Gbit/s( $2 \times 16 \times 10$ Gbit/s),美国朗讯公司已宣布将推出 80 个波长的 WDM 系统,其总容量可达 200Gbit/s( $80 \times 2.5$ Gbit/s)或 400Gbit/s( $40 \times 10$ Gbit/s)。预计不久实用化系统的容量即可达到 1Tbit/s 的水平。可以认为近两年来超大容量密集波分复用系统的发展是光纤通信发展史上的又一里程碑,不仅彻底开发了无穷无尽的光传输线路的容量,而且也成为 IP 业务爆炸式发展的催化剂和下一代光传送网灵活光节点的基础。

### 3. 向全光网络方向发展

未来的高速通信网将是全光网。全光网是光纤通信技术发展的最高阶段,也是理想阶段。传统的光网络实现了节点间的全光化,但在网络结点处仍采用电器件,限制了目前通信网干线总容量的进一步提高,因此真正的全光网已成为一个非常重要的课题。

全光网络以光交换节点代替电交换节点,节点之间也是全光化,信息始终以光的形式进行传输与交换,交换机对用户信息的处理不再按比特进行,而是根据其波长来决定路由。全光网络具有良好的透明性、开放性、兼容性、可靠性和可扩展性,并能提供巨大的带宽、超大容量、极高的处理速度和较低的误码率,网络结构简单,组网非常灵活,可以随时增加新节点而不必安装信号的交换和处理设备。当然全光网络的发展并不可能独立于众多通信技术之中,它必须要与因特网、ATM 网、移动通信网等相融合。

目前,全光网络的发展仍处于初期阶段,但它已显示出了良好的发展前景。从发