



# 现代通信网概论

● 李伟章 编著

人民邮电出版社  
POSTS & TELECOMMUNICATIONS PRESS

# 现代通信网概论

李伟章 编著

人民邮电出版社

## 图书在版编目 (CIP) 数据

现代通信网概论/李伟章编著. —北京: 人民邮电出版社, 2003.7

ISBN 7-115-11239-8

I. 现... II. 李... III. 通信网—概论 IV. TN915

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 028857 号

### 现代通信网概论

- 
- ◆ 编 著 李伟章  
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  
北京汉魂图文设计有限公司制作  
北京鸿佳印刷厂印刷  
新华书店总店北京发行所经销
  
  - ◆ 开本: 787×1092 1/16  
印张: 23.25  
字数: 548 千字  
印数: 1-4 500 册
- 2003 年 7 月第 1 版  
2003 年 7 月北京第 1 次印刷
- ISBN 7-115-11239-8/TN · 2066
- 

定价: 37.00 元

本书如有印装质量问题, 请与本社联系 电话: (010) 67129223

# 前 言

---

作者曾应《电信技术》杂志之约，编写了“现代通信网技术讲座”系列文章共 12 篇，2001 年全年在该杂志上连载，颇受读者好评。因杂志篇幅有限，作者未能将现代通信网全面展现给读者。作者现通过充实现代通信网技术的基础内容，增添通信网的最新技术，改编为书籍出版，以飨读者。

《电信技术》杂志编者约稿初衷为普及通信网知识，使从事电信行业某一局部工作的管理人员与技术人员通过该讲座的学习，不仅能掌握现代通信网全局，而且能高屋建瓴，更深刻地理解与掌握各种通信新技术，这也正是作者编写本书的主要目的。

本书素材源于作者为公司新员工所编写的培训教材，以及作者受邀在几所综合院校给电信专业师生所作讲座的文稿。

本书有如下特点。

(1) 随着信息技术的发展，通信网变得越来越复杂。为了清晰地描述现代通信网的结构，作者将 OSI 分层概念引用到通信网中，并作为贯穿本书的主旋律。本书内容完整、连贯，一气呵成，且各章节亦有一定的独立性，读者既可通读全书，亦可选择相关章节阅读。

(2) 在讲清各类通信网的基本原理和结构的基础上，尽量涵盖国内外通信网络技术的最新成就。

(3) 内容力求简单扼要，深入浅出，避免繁琐的数学推导。

全书共分 14 章，以分层概念讨论现代通信网的基本原理、结构、相关协议及各种业务节点设备。

第 1 章为通信概述，本章将现代通信网划分为通信基础网、业务网和应用层 3 个基本层面。为了支持通信基础网和业务网的有效运行与管理，还需有支撑网的介入。

第 2 章讨论了通信基础网，该网又称为传送网，是各种业务网和支撑网的传输平台。在通信基础网中，根据所配置的节点设备类型不同，可建成不同类型的业务网和支撑网。本章还包括接入网内容，并介绍了未来信息高速公路的传输平台——全光网络。

第 3 章为业务节点设备，在讨论了用于计算机连网的 OSI-RM 的基础上，作者提出了交换机连网的 OSI-RM 新观点，并用此观点剖析了各种电信业务网的业务节点设备，为读者学习后述的各种电信业务网打下了坚实的基础。

第 4~11 章分别讨论了电话网、数据网、计算机网、N-ISDN、蜂窝移动通信网、有线电视网、会议电视网和智能网等电信业务网的基本原理、结构、协议及其相应的业务节点设备，并较详尽地介绍了 3G 移动通信网、多协议标记交换、软交换与下一代网络等各种网络新技术。

第 12~14 章讨论了信令网、同步网和电信管理网等电信支撑网的基本原理与结构。  
由于作者水平有限，书中难免有不妥之处，敬请读者批评指正。

作者  
2003 年 1 月于杭州

## 内 容 提 要

---

本书以 OSI-RM 为主线索,以分层的概念较全面地讨论了现代通信网的基本原理、结构、相关协议以及各种业务节点设备。全书着重讲解了现代通信网技术的基础知识和通信网的最新技术。

本书共分 14 章。第 1 章将现代通信网划分为通信基础网、业务网和应用层三个层面;第 2 章讨论通信网的传送平台——通信基础网;第 3 章以交换设备连网 OSI-RM 概念讨论各种业务节点设备;第 4~11 章介绍各种电信业务网及其相应的业务节点设备;第 12~14 章介绍三大电信支撑网。

本书适用于电信运营、制造、工程和设计等企业的管理人员与工程技术人员,也可供从计算机、自动化等专业转为从事电信专业的人员以及高等院校相关专业师生学习、参考。

# 目 录

第 1 章 通信概述 .....	1
第 2 章 通信基础网 .....	2
2.1 传输媒介 .....	2
2.1.1 电缆 .....	2
2.1.2 微波 .....	4
2.1.3 光纤与光缆 .....	5
2.2 传输系统 .....	7
2.2.1 传输复用设备的分类 .....	7
2.2.2 准同步数字序列 (PDH) .....	7
2.2.3 同步数字序列 (SDH) .....	7
2.2.4 光纤的波分复用 .....	8
2.3 PCM 基本原理 .....	9
2.3.1 抽样 .....	9
2.3.2 量化 .....	10
2.3.3 编码 .....	11
2.3.4 时分复用 .....	12
2.4 SDH 基本原理 .....	14
2.4.1 PDH 的缺陷和 SDH 的产生 .....	14
2.4.2 SDH 的速率 .....	15
2.4.3 SDH 的帧结构 .....	16
2.4.4 SDH 的基本复用原理 .....	17
2.4.5 SDH 的开销功能 .....	19
2.4.6 SDH 传输设备 (SDH 网元) .....	20
2.4.7 SDH 的组网 .....	23
2.4.8 SDH 自愈环形网 .....	26
2.4.9 DXC 保护 .....	29
2.4.10 混合保护 .....	29
2.5 通信基础网的网络节点设备 .....	30
2.5.1 配线架 .....	30
2.5.2 DXC .....	31
2.6 用户接入网 .....	31

2.6.1	概述 .....	31
2.6.2	铜缆用户接入网 .....	32
2.6.3	有源窄带 SDH 接入网 (SDH 数字用户环路) .....	45
2.6.4	无源光纤接入网 (PON) .....	47
2.6.5	无线接入网 .....	51
2.7	全光通信网——光通信的发展方向 .....	57
2.7.1	概述 .....	57
2.7.2	全光网的特点 .....	59
2.7.3	全光网的关键技术 .....	60
2.7.4	自动交换光网络 (ASON) .....	63
<b>第 3 章</b>	<b>业务节点设备 .....</b>	<b>65</b>
3.1	交换设备 .....	65
3.1.1	电路交换 .....	65
3.1.2	报文 (数据报) 交换 .....	65
3.1.3	分组交换 .....	65
3.1.4	面向连接与面向无连接 .....	66
3.1.5	常用分组交换技术 .....	66
3.2	路由器 .....	67
3.3	计算机联网的开放系统互连参考模型 (OSI-RM) .....	68
3.4	交换设备联网的开放系统互连参考模型 (OSI-RM) .....	75
3.5	用交换网 OSI-RM 分析通信网络及其节点设备 .....	77
3.6	交换技术的演进 .....	78
<b>第 4 章</b>	<b>电话网 .....</b>	<b>84</b>
4.1	概述 .....	84
4.2	本地网 .....	85
4.3	长话网 .....	86
4.4	国际长话网 .....	88
4.5	电话号码的编排 .....	89
4.6	计费 .....	93
4.7	程控数字电话交换机的基本原理 .....	95
4.7.1	交换机的基本功能 .....	95
4.7.2	程控数字电话交换机的基本结构 .....	96
4.7.3	数字交换网络 .....	98
4.7.4	用户级 .....	102
4.7.5	数字中继级 .....	105



<b>第 5 章 数据网</b> .....	107
5.1 概述 .....	107
5.2 L2 数据网 .....	108
5.2.1 X.25 分组交换网 .....	108
5.2.2 公用数字数据网 (DDN) .....	117
5.2.3 帧中继 (FR) 网 .....	120
5.2.4 ATM 网 .....	125
5.2.5 以太网 .....	134
5.3 L3 数据网 (IP 网) .....	143
5.3.1 概述 .....	144
5.3.2 TCP/IP 简介 .....	144
5.3.3 路由器 .....	145
5.3.4 三层交换与三层交换机 .....	149
5.3.5 多协议标记交换 (MPLS) .....	151
<b>第 6 章 计算机网</b> .....	156
6.1 概述 .....	156
6.2 局域网 .....	157
6.2.1 局域网的拓扑结构 .....	157
6.2.2 局域网的访问方式 .....	158
6.2.3 典型的局域网——以太网 .....	159
6.2.4 LAN 的网络操作系统 .....	162
6.2.5 无线局域网 (WLAN) .....	163
6.3 城域网 .....	169
6.3.1 城域网概述 .....	169
6.3.2 城域网的主要应用 .....	169
6.3.3 城域网的分层结构 .....	169
6.3.4 城域网的核心层 (网) .....	170
6.3.5 城域网的汇聚层 .....	173
6.3.6 城域网的接入层 .....	174
6.4 广域网 .....	175
6.5 Internet .....	176
6.5.1 Internet 概述 .....	176
6.5.2 TCP/IP 综述 .....	180
6.5.3 因特网协议 (IP) .....	182
6.5.4 传输控制协议 (TCP) .....	184
6.5.5 Internet 的地址系统 .....	187
6.6 软交换技术与下一代网络 (NGN) .....	193
6.6.1 通信网发展回顾和未来通信网 .....	193

6.6.2	对 NGN 的要求	194
6.6.3	电路交换模式与软交换模式	195
6.6.4	软交换的体系结构	196
6.6.5	软交换系统的主要网络部件	198
6.6.6	软交换技术的相关标准	203
6.6.7	软交换技术的主要应用	206
<b>第 7 章</b>	<b>窄带综合业务数字网 (N-ISDN)</b>	<b>209</b>
7.1	概述	209
7.2	从 IDN 接 ISDN 的演进	209
7.3	ISDN 的基本特征	210
7.4	ISDN 业务	211
7.5	ISDN 信道和用户—网络接口	212
7.6	ISDN 信令	214
7.7	ISDN 的寻址方式	215
7.8	ISDN 交换机	215
7.9	ISDN 组网方案	216
7.10	ISDN 用户终端举例	216
7.11	ISDN 多媒体业务的主要应用	217
7.12	永久动态在线——ISDN (AODI)	219
<b>第 8 章</b>	<b>蜂窝移动通信网</b>	<b>221</b>
8.1	概述	221
8.2	蜂窝移动通信的频率复用	223
8.3	移动通信中的多址技术	226
8.4	GSM 网的无线接口技术	228
8.4.1	GSM 网的无线技术特性	228
8.4.2	GSM 的无线信道	229
8.5	GSM 数字移动通信网	233
8.6	CDMA 数字移动通信系统	238
8.6.1	CDMA 移动通信系统的基本原理	239
8.6.2	CDMA 移动通信的多址码技术	241
8.6.3	IS-95 无线信道结构	245
8.6.4	IS-95 系统的逻辑信道划分	247
8.6.5	IS-95 系统通信控制过程	254
8.6.6	CDMA 系统的功率控制技术	254
8.6.7	CDMA 技术的主要优点	255
8.7	公用移动通信网的数据业务	257
8.7.1	公用移动数据通信发展历程和应用	257

8.7.2	电路交换移动数据通信 .....	258
8.7.3	无线应用协议 (WAP) .....	260
8.7.4	GSM 网络的短消息业务 .....	262
8.7.5	GSM 网的 GPRS .....	264
8.7.6	移动 IP 技术 .....	266
8.7.7	cdma2000-1X 的移动分组业务——PSDN .....	269
8.8	第三代 (3G) 移动通信系统综述 .....	272
8.8.1	3G 的提出和标准化概况 .....	272
8.8.2	IMT-2000 系统结构 .....	274
8.8.3	3G 移动通信系统的基本特征 .....	275
8.8.4	3G 移动通信系统的关键技术 .....	276
8.9	3G 移动通信系统的无线传输技术 (RTT) .....	278
8.9.1	WCDMA 的无线传输技术 .....	278
8.9.2	cdma2000 的无线传输技术 .....	283
8.10	第三代 (3G) 移动通信系统的核心网 .....	286
8.10.1	概述 .....	286
8.10.2	基于 2G/2.5G 核心网技术的 3G 第一阶段核心网 (CN) .....	286
8.10.3	基于全 IP 的 3G 第二阶段核心网 .....	287
8.10.4	全 IP 核心网的参考结构 .....	288
<b>第 9 章</b>	<b>有线电视网 .....</b>	<b>293</b>
9.1	概述 .....	293
9.2	电视的基础知识 .....	293
9.3	有线电视系统的组成 .....	298
9.4	有线电视网和通信网的关系 .....	301
9.5	双向传输 HFC 网的实现 .....	301
9.6	电缆调制解调器 (Cable Modem) .....	302
<b>第 10 章</b>	<b>会议电视网 .....</b>	<b>304</b>
10.1	概述 .....	304
10.2	会议电视的分类 .....	304
10.3	会议室会议电视系统的组成 .....	304
10.3.1	传统的会议室会议电视系统 .....	305
10.3.2	基于分组交换的会议电视网 .....	307
10.4	公用会议电视网 .....	311
<b>第 11 章</b>	<b>智能网 .....</b>	<b>312</b>
11.1	概述 .....	312
11.2	智能网的特点 .....	313

11.3	智能网的基本结构	313
11.4	智能网概念模型	314
11.5	智能业务	321
11.6	我国固定智能网网络结构	323
11.7	移动智能网	324
11.8	智能网的演进	325
<b>第 12 章</b>	<b>信令网</b>	<b>328</b>
12.1	概述	328
12.2	随路信令 (CAS) 方式	328
12.3	共路信令 (CCS) 方式	330
12.3.1	概述	330
12.3.2	No.7 信令方式	330
12.3.3	No.7 信令网	339
<b>第 13 章</b>	<b>同步网</b>	<b>343</b>
13.1	概述	343
13.2	数字同步网的同步方式	343
13.3	我国数字同步网的网络结构	344
13.4	各级时钟的设置和同步节点设备	345
13.5	同步网中产生定时环路问题	346
13.6	定时传送链路的原则	347
13.7	同步数字链路的组成	347
13.8	时间同步网	347
<b>第 14 章</b>	<b>电信管理网</b>	<b>349</b>
14.1	概述	349
14.2	TMN 的基本概念	349
14.3	TMN 的体系结构	351
14.4	TMN 管理功能的分层模型	353
14.5	TMN 的管理功能	355
<b>参考文献</b>		<b>358</b>

# 第1章 通信概述

## 1. 信息与通信

人们通过听觉、视觉、嗅觉、触觉等感官感知现实世界，获取信息，并通过通信来传递信息。过去的通信由于受技术与需求所限，仅限于话音。随着信息社会的来到，人们对信息的需求日益多样化，而现代通信的发展又为满足这些需求提供了条件。据统计，在人们通过各种感官所获得的信息量中，从听觉获取的信息大约只占 30%，其余大量的信息则来自其他感官，其中主要来自视觉。现代通信意义上所指的信息已不仅局限于语音、电报、传真等单一媒体信息，而是将声音、图像、文字、数据等合为一体的多媒体信息。总之，人的各种感官或通过仪器、仪表对现实世界的感觉以及各种书籍、档案、新闻、旧录等都含有信息。信息通过通信来进行传递，换句话说，是通信使人们的感官得到了延伸。

## 2. 通信的分类

按信息的不同特征、对信息不同传递需求，通信可以分为：

- 单媒体通信：电话、传真等；
- 多媒体通信：电视、可视电话、会议电视、远程教学等；
- 实时通信：电话、电视等；
- 非实时通信：电报、传真、数据通信等；
- 单向传输：广播、电视等；
- 交互传输：电话、视频点播（VOD, Video On Demand）等；
- 窄带通信：电话、电报、低速数据等；
- 宽带通信：点播电视、会议电视、远程教学、远程医疗、高速数据等。

## 3. 现代通信网的组成

传统通信系统由传输、交换、终端 3 部分组成，其中传输与交换部分组成通信网络，传输部分为网络的链路（link），交换部分为网络的节点（node）。随着通信技术的发展与用户需求的日益多样化，现代通信网正处在变革与发展之中，网络类型及所提供的业务种类正不断增加、更新，形成了复杂的通信网络体系。为了更清晰的描述现代通信网络结构，引入了网络分层的概念，即现代通信网可以分为三层：第一层为通信基础网，第二层为业务网，第三层为应用层。

为了支持各层网络的有效运行和管理，还需要有支撑网（信令网、同步网、电信管理网）的介入，这些支撑网可以为通信网的某一层或多层服务。

## 第2章 通信基础网

通信基础网又称传送网，为简化描述，我们可将通信基础网简单看成是一个以光纤、微波接力、卫星传输为主的传输网络。在这个传输网络的基础上，根据业务节点设备类型的不同，可以构建不同类型的业务网。通信基础网的带宽正在不断拓宽，因此它将逐步成为未来信息高速公路的传输平台。

对通信基础网的描述同样引入了网络分层概念，即通信基础网可以分为三层：第一层为传输媒介，第二层为传输系统，第三层为传送网节点设备。

### 2.1 传输媒介

携带信息的电磁波需要在一定的物理媒质中传播，我们将这种物理媒质称为传输媒介。传输媒介目前主要有以下几种。

#### 2.1.1 电缆

在通信网中最常用的电缆是双绞线电缆和同轴电缆。双绞线电缆广泛用于电话网中作为模拟用户线使用。近年来由于局域网和宽带接入网的发展，多种性能优越的数据双绞线电缆不断涌现。

##### 1. 双绞线电缆

多对双绞线按一定规则排列成芯线组，外层包以塑料或铅皮则构成双绞线电缆。双绞线由一对相互按一定扭距绞合在一起的铜导线组成，每根导线表面涂有绝缘层并用一定颜色标记。成对线的扭绞使电磁辐射和外部电磁干扰减至最小。

双绞线按其电气特性可分为两大类：100Ω非屏蔽双绞线(UTP, Unshielded Twisted Paired)和150Ω屏蔽双绞线(STP, Shielded Twisted Paired)。UTP原用于电话用户线，经过不断的改进与提高，目前已广泛用于局域网，它价格低，布线使用十分方便。它可分类如下：

(1) 美国电气工业协会/电信工业学会(EIA/TIA, Electronic Industries Association/Telecommunications Industries Association)第一、二类双绞线主要用于电话用户线，其传输速率低于1Mbit/s，很少用于数据网；

(2) EIA/TIA第三类双绞线，亦是为传输语音而设计的双绞线，但其性能明显优于一、二类线，最高传输速率可达16Mbit/s，可用于10Mbit/s以太网；

(3) EIA/TIA第四类双绞线是为传输数据而设计的双绞线，最高传输速率可达20Mbit/s，可用于10Mbit/s以太网。

(4) EIA/TIA第五类双绞线是一种性能优越的双绞线，最高传输速率可达100Mbit/s，目

前广泛用于 10/100Mbit/s 以太网和宽带接入网。

第一、二、三类双绞线一般称为音频双绞线；而四、五类双绞线一般称为数据双绞线。各类双绞线的关键差别在于扭绞密度，即单位距离的扭绞次数的多少。双绞线扭绞密度越高，成本越高，传输性能也越好。

150Ω STP 是另外一类高性能屏蔽式 22AWG 或 24AWG 双绞线电缆(美国线缆等级)，最高传输速率大于 100Mbit/s。它价格昂贵，布线、使用不便，但适合在强干扰环境下工作。

## 2. 同轴电缆

同轴电缆由同轴的内外导体构成，其内外导体之间有一层绝缘介质，用于防止内外导体之间出现径向漏电电流。在外导体外面包一层塑料防护套，以保护外导体免受损害。

同轴电缆内导体一般由实心铜导线制成，外导体除了传输高频电流外，还有屏蔽外界电磁干扰、防止电磁信号外泄的作用。外导体除了电阻要小以外，还应有较好的密封性能，可以采用密编铜网，但造价高；还可以采用铝塑复合膜加疏编铜网以提高屏蔽性能，降低造价。

绝缘介质的介电常数越小越好，以期得到较小的衰耗与温度系数。它可以采用聚乙烯塑料，也可以采用空气介质。采用聚乙烯塑料作介质的电缆，随着使用年限的增加将逐渐老化，随之衰耗量加大。如果采用空气介质，衰耗系数与温度系数都很小，但空气芯无法固定内外导体间的相对位置，故只能采用半空气芯。半空气芯有封闭竹节型、物理发泡型以及藕芯电缆等。

同轴电缆的防护套用塑料制成，以增强电缆的抗磨损、抗机械损伤和抗化学腐蚀的能力。用于室外的干线与支线电缆一般采用抗紫外线的塑料作为护套，用于室内的电缆则采用阻燃的塑料作为护套。在有强烈机械损伤的场合，应采用在标准护套外缠绕一层钢带后再加一层护套的铠装电缆。按照电缆护套不同，可将电缆分为标准电缆、无护套电缆、埋地电缆、吊线电缆、铠装电缆等。

同轴电缆用作高频设备架内、架间跳线，天线、馈线等，并大量用于有线电视(CATV, Cable Television)的用户分配网中。同轴电缆特性阻抗主要有 50Ω、75Ω 两类，在有线电视中统一使用衰耗量较小、特性阻抗为 75Ω 的同轴电缆。表 2.1 为常用同轴电缆的部分参数。

表 2.1 常用同轴电缆部分参数

电缆型号	电缆特征	回波损耗	特性阻抗 (Ω)	电容 (pF/m)	衰减量 (dB) /100m		
					30MHz	200MHz	800MHz
SYV-75-2	聚氯乙烯护套聚乙烯同轴	—	75±3.0	76	7.8	21	—
SYV-75-5-2	聚氯乙烯护套聚乙烯藕芯同轴	>15dB	75±2.5	54.5±3	3.2	8.9	18.3
SYDV-75-9	聚氯乙烯护套聚乙烯藕芯同轴	>18dB	75±2.5	60	2.1	5.7	12.5
SIOY-75-7-A	聚氯乙烯护套铝塑纵包藕芯同轴	—	75±2.5	57	2.6	7.1	15.2
SYDY-75-9-5	垫片式聚氯乙烯护套同轴	—	75±2.0	50	1.6	4.0	8.0

### 2.1.2 微波

#### 1. 地面微波中继通信

微波通信是用微波作为载体传送信息的一种通信手段。微波是指波长为  $1\text{mm}\sim 1\text{m}$ ，或频率为  $300\text{MHz}\sim 300\text{GHz}$  的电磁波。表 2.2 是从长波、中波、短波到微波的电磁波频谱排列。表 2.3 为国际通用微波频段字母名称。

表 2.2 电磁波频谱排列

频率 3kHz	30kHz	300kHz	3MHz	30MHz	300MHz	3GHz	30GHz	300GHz
VLF (甚低频)	LF (低频)	MF (中频)	HF (高频)	VHF (甚高频)	UHF (超高频)	SHF (特高频)	EHF (极高频)	
VLW (甚长波)	LW (长波)	MW (中波)	SW (短波)	VSW (甚短波)	微波			
					分米波	厘米波	毫米波	
波长 $10^5\text{m}$	$10^4\text{m}$	$10^3\text{m}$	$10^2\text{m}$	$10\text{m}$	$1\text{m}$	$10^{-1}\text{m}$	$10^{-2}\text{m}$	$10^{-3}\text{m}$

表 2.3 微波频段的字母名称

频段名称	VHF	UHF	L	S	C	X	Ku	K	Ka	F	E	V
频段 (GHz)	0.03~0.3	0.3~1.0	1.0~2.0	2.0~4.0	4.0~8.0	8.0~12.5	12.5~18.0	18.0~26.5	26.5~40.0	40.0~60.0	60.0~90.0	90.0~140.0

微波通信具有以下特点。

#### (1) 微波波段频带宽

由表 2.2 可见，全部长、中、短波波段总带宽不到  $30\text{MHz}$ ，而就厘米波波段而言，其带宽为  $27\text{GHz}$ ，几乎是前者的  $1000$  倍。显然微波占有频带较宽，则其通信容量就大。一套微波设备一般可传送几千路电话或多套电视节目。

#### (2) 天线增益高，方向性强

当天线面积给定时，其增益与波长的平方成反比，故在微波波段很容易制成高增益、方向性强的天线，从而使微波发信机的功率减小，与其他通信方式的相互干扰小。

#### (3) 外界干扰小

在微波波段，工业干扰、天电干扰等基本不起作用，这使通信质量与稳定性都能得以保证。

#### (4) 中继（接力）传输方式

在微波波段电磁波按直线传播。考虑到地球表面呈球面状，直线通信距离一般只有几十公里。若要进行长距离通信，需采用如图 2.1 所示的接力传输方式，即在高山、铁塔、高层建筑等顶部安装微波转发设备逐段转发。

例如一条  $2500\text{km}$  的微波线路，中间大约需要  $50$  个左右的中继站。

据上述分析可知，微波中继通信具有通信容量大、传输质量高等优点，但随着光纤通信的出现，微波通信在通信容量、质量方面的优势就不存在了。

但就微波线路能跨越高山、水域，在繁华城市中可迅速组建电路等组网灵活性而言，微波通信与光纤通信在未来通信网中能做到优势互补，长期共存。

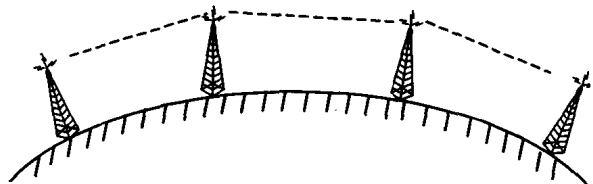


图 2.1 微波接力传输方式



## 2. 卫星通信

卫星通信亦工作在微波波段，与地面的微波接力通信类似，但它利用高空卫星进行接力通信。

### (1) 高轨道通信卫星

高轨道通信卫星为运行在地面约 36 000km 上空的同步卫星。位于印度洋、大西洋、太平洋上空的三颗同步卫星基本可覆盖全球。因卫星距离地面太远，故要求地面站发射机有强大的发射功率，接收机灵敏度要高，天线增益要高。

### (2) 低轨道通信卫星

低轨道通信卫星为运行在地面 500~1 500km 上空的非同步卫星。采用多颗小型卫星组成一个星座，若能做到在世界任何地方上空能看到其中一颗星，则通过星际通信可覆盖全球通信。低轨道通信卫星主要用于移动通信和全球定位系统（GPS, Global Position System）。

### 2.1.3 光纤与光缆

1996 年，英籍华人高锟博士根据介质波导理论首次提出光导纤维可用于光通信的科学论证。1970 年美国康宁玻璃公司制造出了世界上第一根光导纤维，当时每公里的衰耗为 20dB，经改进后，不久降为 4dB。1976 年世界上第一条光纤通信系统的试验线路在美国亚特兰大的贝尔实验室地下管道中问世，次年在美国芝加哥进行了光纤通信系统的商用试验。20 世纪 80 年代后，随着 PDH、SDH、DXC、DWDM 等技术的进步，光纤通信在全世界得到了蓬勃的发展。

光纤是光导纤维的简称。它是直径很细（ $\mu\text{m}$  数量级）的介质光波导，它能将一定波长的光信号限制在其中，并沿其轴线向前传播。光纤在光通信中的作用是在不受外界干扰的条件下，低损耗、小失真地将光信号（数字或模拟）从一端传送到另一端。

光纤由纤芯、包层和涂覆套塑层 3 部分构成，如图 2.2 所示。中心部分纤芯的作用是传导光波，它由高纯度石英玻璃  $\text{SiO}_2$  制成；包层的作用是将光封闭在光纤中传播，包层的折射率小于纤芯的折射率，它对光信号形成全反射，从而将光信号限制在纤芯中沿着轴线方向传播，如图 2.2 所示。涂覆套塑层则起保护作用，用以加强光纤的机械强度。经过涂覆套塑后的光纤称为光纤芯线，再由光纤芯线制成光缆。

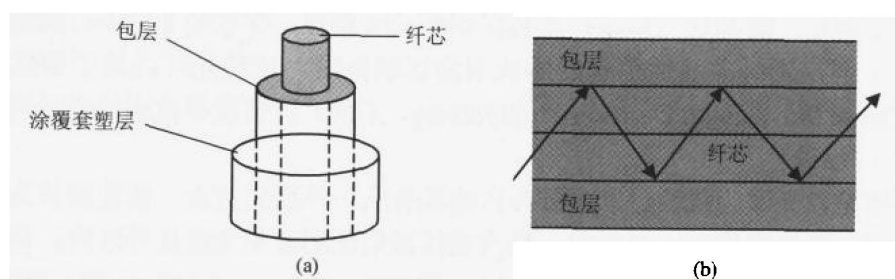


图 2.2 光纤结构与导光原理

光纤通常需要成缆使用，一根光缆包含多根光纤芯线。光缆的基本结构中有 3 个组成部分：缆芯、护套和加强件。缆芯由多根光纤芯线组成，护套起保护作用，加强件用来增加光缆的强度。

光缆按其结构可分为层绞式、骨架式、束管式和带状光纤式，目前带状光纤的含纤量已达 4 200 芯，这种光缆特别适用于光纤接入网。