



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

普通高等院校

电子信息类系列教材

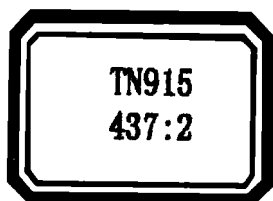
*XianDai TongXin Wang
GaiLun*

现代通信网概论 (第2版)

© 秦国 主编 秦亚莉 韩彬霞 编著



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

普通高等院校电子信息类系列教材

现代通信网概论

(第2版)

秦国 主编

秦亚莉 韩彬霞 编著

人民邮电出版社

北京

图书在版编目 (CIP) 数据

现代通信网概论 / 秦国主编; 秦亚莉, 韩彬霞编著.
2 版. —北京: 人民邮电出版社, 2008.11
(普通高等院校电子信息类系列教材)
ISBN 978-7-115-18505-1

I. 现… II. ①秦…②秦…③韩… III. 通信网—高等学
校—教材 IV. TN915

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 103208 号

内 容 提 要

本书以通信网处理信息的具体对象为主线, 从现代通信网络的基础知识入手, 分九章对构成现代通信网的电话通信网、数据通信网、图像通信网、宽带综合业务数字网、接入网、支撑网、下一代通信网等的概念、基础技术、基本原理及基本发展或演变过程、特点、结构、功能等要素做了深入浅出的阐述。

本书图文并茂, 语言叙述简洁, 具有较强的系统性和科学性。

本书既可作为非通信工程专业本科生、研究生的教材, 也可供通信工程技术人员参考使用。

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

普通高等院校电子信息类系列教材

现代通信网概论 (第 2 版)

◆ 主 编 秦 国
编 著 秦亚莉 韩彬霞
责任编辑 滑 玉

◆ 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>
北京铭成印刷有限公司印刷

◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 21.5
字数: 524 千字
印数: 20 501—23 500 册
2008 年 11 月第 2 版
2008 年 11 月北京第 1 次印刷

ISBN 978-7-115-18505-1/TN

定价: 34.00 元

读者服务热线: (010) 67170985 印装质量热线: (010) 67129223
反盗版热线: (010) 67171154

第2版前言

《现代通信网概论》(第1版)自出版以来,得到各院校同行的认可,并被评为普通高等教育“十一五”国家级规划教材。鉴于现代通信网技术及相关要素发展迅速,教材的部分内容已经陈旧,因此对本教材进行了修订。

这次修订的内容,是在保证原教材基本体系结构不变的情况下,对以下几个方面进行了必要的修订:

一是从现代网通信技术的发展情况来看,其发展速度非常迅猛,许多新知识、新协议、新观点层出不穷,为此,在教材修订的过程中,删除了部分陈旧过时的内容,进行了必要的的数据及体系构架补充,确保了本教材内容的先进性。

二是新增加了一章——图像通信网络与系统,使得教材的结构更加完整。

三是对原书的部分内容进行了重新安排,使得教材的体系结构更加合理。

本书在修改以上内容的时候,继续保留了原书图文并茂、叙述简洁、深入浅出、内容组织循序渐进、丰富实用的特点。

本书的第1、2、3、8章由秦国教授编写,第4、5、6由秦亚莉副教授编写,第7、9章由韩彬霞副教授编写。秦国教授对全书进行了统稿。

由于时间紧张,加之通信网络技术发展迅猛,书中的错误和疏漏之处在所难免,敬请广大读者批评、指正。

编 者

目 录

第1章 概述.....1	2.7 拥塞和流量的控制..... 54
1.1 现代通信网基本构成1	2.7.1 流量和拥塞 54
1.2 现代通信网的分类3	2.7.2 流量控制方法 55
1.3 现代通信网的主要特点3	2.7.3 拥塞控制方法 58
1.4 现代通信网的发展4	2.8 信令及接口 60
小结.....12	2.8.1 信令的一般概念 60
练习思考题.....12	2.8.2 我国目前采用的信令方式及 配置 62
第2章 现代通信网基础技术及其发展13	2.8.3 接口及其配置 62
2.1 通信网.....13	小结 64
2.1.1 通信网一般组成.....13	练习思考题 64
2.1.2 通信网组成的基本要素.....13	第3章 电话通信网 65
2.2 现代通信网的结构15	3.1 电话通信网的基本概念 65
2.2.1 网络的基本拓扑结构.....15	3.1.1 电话通信的概念 65
2.2.2 等级制网络结构.....17	3.1.2 电话通信网的基本构成 66
2.3 现代通信网传输技术19	3.1.3 电话通信网的分类 66
2.3.1 多路复用技术.....19	3.2 固定电话通信网 66
2.3.2 准同步数字系列和同步数字 系列22	3.2.1 固定电话通信网概念 67
2.3.3 现代通信网常用传输信道.....26	3.2.2 固定电话通信网的网络结构 67
2.4 交换技术.....31	3.3 移动电话通信网 69
2.4.1 电路交换.....31	3.3.1 移动电话通信网概述 69
2.4.2 报文交换.....32	3.3.2 移动电话通信系统 73
2.4.3 分组交换.....34	3.4 公众移动电话通信网 78
2.4.4 3种交换方式的比较.....35	3.4.1 900MHz 蜂窝模拟移动电话 通信网组成 78
2.4.5 异步转换模式交换方式.....36	3.4.2 公众蜂窝模拟移动电话通信 网制式和区域 79
2.4.6 光交换技术.....37	3.4.3 公众蜂窝模拟移动电话通信 网结构 80
2.5 通信协议.....38	3.4.4 公众蜂窝模拟移动电话入网 方式 81
2.5.1 协议的概念.....39	3.5 数字移动电话通信网 82
2.5.2 通信协议的分层.....40	3.5.1 数字移动电话通信网组网 方式 82
2.5.3 ISO/OSI 参考模型和协议.....41	
2.6 通信网路由选择47	
2.6.1 路由选择原则.....47	
2.6.2 最短路由选择算法.....48	
2.6.3 路由选择策略.....49	

3.5.2 数字移动电话通信网结构	83	4.4.6 广域网	131
3.5.3 数字移动通信系统	85	4.4.7 中国公用计算机互联网	131
3.6 集群移动通信系统	99	4.4.8 计算机通信网的安全性	131
3.6.1 集群系统的概念与特点	99	4.5 帧中继网	135
3.6.2 集群移动通信系统组网方式	100	4.5.1 帧中继技术及其特点	135
3.6.3 集群移动电话通信系统的工作方式	102	4.5.2 中国公用帧中继网	137
3.6.4 集群移动通信系统进入市话网的方式	102	4.5.3 帧中继业务及应用	138
3.7 未来的移动电话通信网	103	4.5.4 用户接入	139
3.7.1 移动通信网向第三代过渡	104	4.5.5 公用帧中继网与其他数据网的关系	140
3.7.2 无线局域网的发展	105	4.6 IP 通信网	140
3.7.3 红外线无线通信的发展	106	4.6.1 IP 电话	140
3.7.4 无线 Internet 的发展	106	4.6.2 IP 通信网协议和标准	143
小结	107	小结	151
练习思考题	107	练习思考题	151
第4章 数据通信网	108	第5章 图像通信网络与系统	152
4.1 数据通信网概述	108	5.1 概述	152
4.1.1 数据通信网的基本概念	108	5.1.1 图像信息的特点	152
4.1.2 数据通信网的分类	109	5.1.2 图像通信系统的组成	152
4.1.3 数据通信网主要质量指标	109	5.1.3 图像通信业务类型	153
4.1.4 数据通信网建设与发展	110	5.1.4 图像通信及其网络的发展	153
4.2 分组交换网	112	5.2 图像通信的关键技术	155
4.2.1 分组交换网基本结构	112	5.2.1 图像信号数字化技术	155
4.2.2 分组交换网组网	115	5.2.2 图像信号压缩技术	156
4.3 数字数据网	117	5.2.3 网络传输技术	157
4.3.1 数字数据网概念及特点	117	5.2.4 图像信号编码的国际标准	159
4.3.2 数字数据网的构成	118	5.2.5 图像通信的硬件技术	161
4.3.3 网间连接	120	5.3 会议电视系统	163
4.3.4 我国 DDN 规划	120	5.3.1 基于 N-ISDN 的 H.320 会议电视系统	163
4.4 计算机通信网	122	5.3.2 基于 IP 的 H.323 会议电视系统	168
4.4.1 计算机通信网发展过程	122	5.3.3 系统的设置	174
4.4.2 计算机通信网主要功能特点	123	5.4 可视电话系统	175
4.4.3 计算机通信网的组成与分类	125	5.4.1 可视电话终端	175
4.4.4 局域网	126	5.4.2 低速视频编码	177
4.4.5 城域网	130	5.4.3 低速语音编码	180
		5.4.4 组网通信控制和复用技术	181
		5.4.5 PSTN 的 Modem 接口	184

小结	184	小结	212
练习思考题	184	练习思考题	213
第 6 章 宽带综合业务数字网	186	第 7 章 接入网	214
6.1 综合业务数字网	186	7.1 接入网的概念	214
6.1.1 综合业务数字网及其演化	186	7.1.1 接入网的功能和接入类型	214
6.1.2 ISDN 的特点	187	7.1.2 接入网的主要接口	218
6.1.3 ISDN 的目标	188	7.2 有线接入网	221
6.1.4 建立 ISDN 的原则	188	7.2.1 铜线接入网	221
6.1.5 ISDN 可实现的主要传输 功能	188	7.2.2 光纤接入网	224
6.1.6 ISDN 的基本结构	189	7.2.3 混合光纤/同轴电缆接入网	226
6.1.7 ISDN 的发展趋势	189	7.3 无线接入网	228
6.2 ISDN 的用户-网络接口与 ISDN 交换机	190	7.3.1 无线本地环路	229
6.2.1 对 ISDN 用户-网络接口的 要求	190	7.3.2 全球移动通信系统	232
6.2.2 ISDN 用户-网络接口的参考 配置	191	7.3.3 无绳系统	235
6.2.3 信道类型与接口速率	193	7.3.4 卫星系统	238
6.2.4 用户接口协议	193	7.3.5 个人通信	239
6.2.5 ISDN 交换机	193	7.4 宽带接入网	241
6.3 ISDN 与其他通信网的互通	195	7.4.1 IP 接入网	241
6.3.1 ISDN 与电话通信网的 互通	196	7.4.2 宽带综合接入	244
6.3.2 ISDN 与分组交换公众数据 网的互通	196	小结	254
6.3.3 ISDN 的应用	198	练习思考题	255
6.4 宽带综合业务数字网	198	第 8 章 支撑网	256
6.4.1 宽带综合业务数字网发展 动因	199	8.1 信令网	256
6.4.2 B-ISDN 与 ISDN 的差别	199	8.1.1 信令的概念与分类	256
6.4.3 B-ISDN 结构	200	8.1.2 No.7 信令系统的概念与 特性	257
6.4.4 B-ISDN 的规程参考模型	201	8.1.3 No.7 信令系统的组成	259
6.4.5 B-ISDN 的应用	201	8.1.4 No.7 信令网概念及分类	259
6.5 ATM 通信网	206	8.1.5 No.7 信令网组成与结构	261
6.5.1 ATM 与宽带综合业务数字 网 (B-ISDN)	207	8.1.6 我国信令网结构与组织	263
6.5.2 ATM 的基本工作原理	208	8.1.7 No.7 信令网的信令区及 信令点的编码	265
6.5.3 ATM 网络面临的挑战	210	8.2 同步网	267
		8.2.1 同步网的概念	267
		8.2.2 同步方式	267
		8.2.3 同步网的等级结构	268
		8.2.4 我国同步网的组网方式及 等级结构	269
		8.3 电信管理网	272

8.3.1 电信管理网的概念·····	272	9.2.3 软交换的主要功能·····	299
8.3.2 电信管理网的功能·····	274	9.2.4 软交换支持的主要协议·····	302
8.3.3 网络管理·····	275	9.2.5 软交换网络中存在的问题·····	305
8.3.4 我国电信管理网系统·····	277	9.3 网关·····	307
小结·····	285	9.3.1 媒体网关·····	308
练习思考题·····	286	9.3.2 信令网关·····	314
第9章 下一代通信网络 ·····	287	9.4 软交换的业务与安全·····	320
9.1 概述·····	288	9.4.1 软交换的增值业务架构·····	320
9.1.1 下一代网络的定义·····	288	9.4.2 软交换与应用服务器间的 交互·····	321
9.1.2 下一代网络的特点·····	289	9.4.3 应用服务器之间的交互·····	322
9.1.3 下一代网络的分层·····	291	9.4.4 业务应用编程接口·····	322
9.1.4 下一代网络的体系结构·····	292	9.4.5 软交换中的安全·····	324
9.1.5 下一代网络的主要协议·····	296	9.5 三网融合·····	330
9.2 软交换·····	298	小结·····	334
9.2.1 软交换的定义·····	298	练习思考题·····	335
9.2.2 软交换的主要特点·····	299		

第 1 章 概 述

通信是现代信息社会中包括能源、交通、通信等在内的三大基础结构之一，是现代信息社会运行机体的神经系统。因此，认真地研究、合理地使用现代通信网这个工具，对于我们及时掌握社会发展动态，紧跟时代发展的步伐，把握时代发展的脉搏，永远立于不败之地具有重要的作用。

现代通信网是由一系列通信设备、信道和规章（则）组成的有机整体，使与之相连的用户终端设备可以进行有意义的电信息交流。简单地说，通信网是能够在多个用户间相互传递电信息的网络，如我们经常使用的电话通信网、电报通信网、数据通信网、计算机通信网等。

1.1 现代通信网基本构成

现代通信网由于科学技术的不断进步，各种通信功能部件层出不穷，由此构成了不同的通信网。完成不同的通信业务功能。但是，抛开具体的业务功能，抽取其核心的东西不难看出，现代通信网中的通信系统基本模型是一致的，如图 1-1 所示。

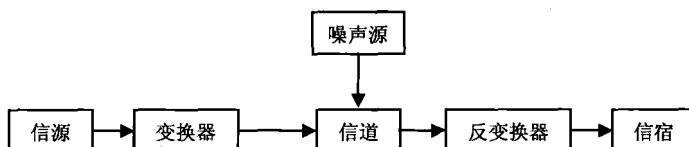


图 1-1 通信系统基本模型示意图

通常的情况下，我们把以电信号作为传递和交换信息手段的通信方式所构成的系统称为通信系统。因此，通信系统是各种协调工作的通信设备和通信信道集合而成的一个整体。

从图 1-1 中我们可以看到，一个通信系统主要包括：信源、变换器、信道、噪声源、反变换器和信宿 6 部分。

1. 信源

信源是指发出信息的基本设施。在人与人之间进行通信时，信源指的就是直接发出信息的人。在设备与设备之间进行通信时，信源指的就是能够发出信息的设备，如电话机、传真

机、计算机等。

2. 变换器

变换器是对信源发出的信息按一定的目的进行变换的设备。通过变换器的变换，把信源发出的信息变换成适合在信道上传输的信息。如电话通信系统的变换器就是送话器，通过送话器把人们的语音变换成电信号。当然，为了更有效、更可靠地传递信息，系统中还会使用更复杂或者更完善的变换和处理装置。另外，信源发出的信息形式不同，也需要不同的变换和处理方式，因而，也就构成了不同类型的通信系统与网络。如对应语音形式的通信系统就是电话通信系统；如信源的信息形式是文字或数据，就有电报通信系统或数据通信系统与之相对应；同理，如信源的信息形式是图像、语音、文字的混合体，就有多媒体通信系统与之相对应等。

3. 信道

信道是信息传输介质的总称。如前所述，不同的信源形式所对应的变换处理方式不同，与之对应的信道形式也会不同。通常的情况下，信道的划分标准有两种方式。

（1）信道按传输介质的不同可分为无线信道和有线信道。如果使电磁信号能够在自由空间传输的信道称为无线信道，如我们常说的长波、短波、超短波、微波、散射和卫星信道等。把电磁信号约束在某种有形传输介质上传输的信道称为有线信道，例如经常使用的各种被覆线、双绞线、电缆和光缆等。

（2）信道按传输信号形式的不同可分为模拟信道和数字信道。模拟信道上传送的是模拟信号，主要有音频信号的实线传输和采用频分复用技术的多路传输等方式；数字信道上传输的是数字信号。

4. 反变换器

反变换器的工作过程是变换器的逆工作过程。因为，变换器把不同形式的信息变换和处理成了适应信道上传输的信号，一般情况下这种信号是不能为信息接收者所直接接收的，所以，反变换器的功能就是把从信道上接收的信息变换成接收者可以接收的信息。

5. 信宿

信宿是信息传输的终点，也就是信息的接收者。它可以与信源相对应而构成人-人通信或者机-机通信；也可以与信源不一致而构成人-机或机-人通信。

6. 噪声源

噪声源并不是人为实现的实体，但在实际通信过程中又是实际存在的。模型中的噪声源是以集中的形式表示的，实际上这种干扰噪声可能在信源信息初始产生的周围环境中就混杂而入了，也可能从构成变换器的电子设备引入。另外，传输信道中的电磁感应以及接收端各种设备中引入的干扰都会产生影响。

通信的基本形式是在信源和信宿之间建立一个传输（包括信息转移）信息的通道，即传输信道。但由于通信的信源和信宿之间的不确定性和多元性，也出于技术和经济上的考虑，

在构成通信网络的实际通信系统中一般不在它们之间建立固定的信息信道，即不是将所有的用户都通过直达线路连接起来。因此，就需要设置公用的交换转接设备和传输设备、公用的路由选择设备、公用的信息处理软件和公用的管理系统，上述各种设备和要素构成了灵活的通信网，完成人们的通信任务。

1.2 现代通信网的分类

现代通信网从各个不同的角度出发，可有各种不同的分类。

① 按通信的业务类型进行分类：电话通信网、电报通信网、电视网、数据通信网、计算机通信网（局域网、城域网和广域网）、多媒体通信网和综合业务数字网等。

② 按通信的传输手段进行分类：长波通信网、载波通信网、光纤通信网、无线电通信网、卫星通信网、微波接力网和散射通信网等。

③ 按通信服务的区域进行分类：农话通信网、市话通信网、长话通信网和国际通信网或局域网、城域网和广域网等。

④ 按通信服务的对象进行分类：公用通信网、专用通信网等。

⑤ 按通信传输处理信号的形式分：模拟通信网和数字通信网等。

⑥ 按通信的活动方式分：固定通信网和移动通信网等。

1.3 现代通信网的主要特点

现代通信网主要建立以城市为中心固定的等级结构网络，结合区域蜂窝结构的移动通信网络，为用户提供快捷方便的信息服务。随着科技的不断发展，先进的科学技术成果优先在通信领域推广和应用，为通信网的快速发展提供了强大的物质基础。现代通信网的快速发展，为更多的用户提供了方便、快捷、安全可靠和灵活多样的通信服务功能。现代通信网主要有以下特点。

1. 使用方便

功能强大的通信终端可为用户提供方便的使用条件。电话机、传真机、计算机等通信终端使用非常便利，操作者通过简单的几个按键或点击鼠标，即可向远在万里的人们传递信息，达到信息交流的目的。

2. 安全可靠

现代通信网是社会的神经系统，已成为社会活动的主要机能之一，人们迫切希望现代通信网传递信息安全、可靠。现代通信网的服务功能充分考虑了用户传递信息的安全和可靠因素，采用了大量的有效措施。例如，对传输信息的传输链路加密、网络进入的认证等方式，有效地防止了信息的误传；对网络结构的合理安排有效地解决了部分设备故障带来的信息传递的延误等。

3. 灵活多样

在现代通信网络中,双方既可以进行文字的交流,也可以交换和共享数据信息;既可以进行真诚的语音交流,也可以进行富有感情色彩的多媒体信息交流。总之,现代通信网提供了丰富多彩、灵活多样的信息服务。

4. 覆盖范围广

“海内存知己,天涯若比邻”,现代通信网拉近了人与人之间的距离。无论你是出差办事、商务活动、还是探亲访友;无论你是在国内活动,还是在海外旅游,现代通信网都能为你提供广泛的信息交流服务。

1.4 现代通信网的发展

21 世纪人类的活动越来越多地依赖于通信网,通信网日益成为现代社会的基础结构,人类社会正明显地向以通信网为主体的信息社会演变。人类目前拥有各种各样的通信网,如电话通信网、数据通信网、计算机通信网等,它们的任务都是传递信息。通信网对人类社会发展的最重要贡献是,消除了通信用户之间在地理上的距离,使世界在信息共享意义上成为了“地球村”,为人类大范围的合作创造了良好的条件。

但是,目前的通信网还存在许多问题,如容量有限、转移效率不高等。最重要的问题是:现有各种通信网在技术上过于个性化,即为保障实时通信,通信网采用了电路交换技术,因而不能充分有效地利用传输资源;为适应非实时数据通信,计算机通信网采用分组交换,这样又不能有效支持实时通信的要求;为适应电视点对面的广播性质,采用了单向传输技术,这又不利于实现互动和交互的双向通信。总之,由于不同通信网的技术体制不同,妨碍了通信资源的共享。因此,下一步的发展将是在各种通信网之间实现技术的兼容、融合和集成,这是不可避免的趋势。随着高速路由器技术与异步转移模式技术的结合,技术融合可望在 21 世纪第一个 10 年内大体完成。

20 世纪 80 年代以后,一方面是信息技术各方面的快速变化,技术复杂性的不断增加,科学新思想的提出和技术的进展;另一方面又由于要经过产品开发周期、市场确认,以及解决建设资金和技术过渡兼容性等一系列问题,即使转入实际的大面积推广应用时间已难以确定。所以,现代通信网作为十分庞大和复杂的系统工程,鉴于经济、政治和技术等原因,它的发展也就变成了一个渐进的过程。这种现代通信网发展速度和信息技术创新的不同步,导致越来越难于按每个具体的时间来划分现代通信网的发展阶段;另一个难于划分的原因是世界各国通信网发展水平差别巨大。本书所述现代通信网的发展过程和趋势主要以先进国家的发展作为依据。

1. 现代通信网的发展过程

现代通信网的发展过程,大体可分为以下 4 个阶段。

(1) 第一阶段

现代通信网发展的第一阶段是 19 世纪中叶至 20 世纪 40 年代。从有线通信的角度来看,1844 年有线电报的发明人莫尔斯(Samuel Morse)亲自从华盛顿向他的大学发出第一份电报;

1854年美国军队在克里米亚战争中,建立了从司令部到下属部队的电报通信网;美国在内战中,联邦政府共架设了2.4万公里的电报线。自1876年贝尔(Aeander Graham Bell)发明电话以后的很短时间里,人们已经开始意识到电话线应该汇接到一个中心,在中心点上建立两个电话的线路连接,这就是以人工交换台为基础的电话通信网;1889年 Almoud B.Strower 发明了机电式的步进制交换机,由用户拨号脉冲直接控制机电器械选择路由的步进制交换机,一直用至20世纪70年代,期间1932年瑞典人发明了类似继电器接通的纵横制交换机。

从无线通信的角度来看,1895年马可尼和波波夫分别发明了无线电收发报机。这种不受位置限制、通信距离远和速度快的通信手段很快风靡军队。1897年美国陆军在纽约附近建立了一条试验性舰岸无线线路。1905年清朝政府北洋新军为海军船只装备了无线电台。

在第二次世界大战中,出现了短波、超短波无线电台、无线接力机,配合传真机和多路载波机等通信设备,开始产生保障通信的完整体制和编制。

现代通信网发展的第一阶段形成了有线电话、电报和无线电电台为主,简易信号和运动通信为辅的通信网。近代通信业务主要是电话和电报,电话业务占统治地位,且为模拟信号传输。20世纪30年代~40年代长途、公用电话仍主要依靠人工接续或半自动接续,电报的编、译码和交换方式还是以人工为主。

综上所述,第一阶段现代通信网技术的主要特征是信息开始以电磁信号的形式实现远距离传输,即电话、电报传输。

(2) 第二阶段

现代通信网发展的第二阶段是在20世纪50年代~70年代。晶体管、半导体集成电路和计算机等技术的发展,为通信网的发展起到了关键作用。1951年美国建成了第一条有100个中继站的微波接力通信线路,采用4GHz工作频率和20MHz带宽,从此,中大容量模拟无线接力系统在全世界推广应用。20世纪60年代基于脉冲编码调制(PCM)(每路电话64kbit/s)的数字传输体系开始建立,至今仍是通信网传输体系的骨干。1965年美国AT&T推出了第一个程控本地交换系统。1962年美国发射了一颗AT&T通信卫星,第一次实现了跨越大西洋的电视转播。1965年第一颗地球同步通信卫星INTELSAT-I发射。在第二阶段中,以模拟通信为主的通信网技术得到了快速发展。主要发达国家在这一时期基本建立了统一的综合通信网,主要包括自动电话网、自动电报网和自动保密电话网。由于卫星通信的距离远、容量大、可靠性高、监视能力强等显著优点,在通信网中受到高度重视,并得到了迅速发展和广泛应用。通信网从独立、按业务分类的单一通信网,开始过渡到以电缆(地缆、海缆)、无线接力、散射和卫星综合传输体系为基础的综合通信网。这里综合通信网的概念是针对各自独立通信网而言的,是各种业务综合利用的数字传输设备和信道实现统一协调的互通;但不同的业务如电话、电报,仍然要采用各自不同的交换设备,还不能以统一的信号形式实现综合交换,也没有综合业务的终端设备。现代通信网发展的第二阶段中,由于出现了抗干扰能力强、便于计算机处理、高安全性加密,以及能很好地满足现代通信自动控制要求的数字通信体制,使得占绝对统治地位的模拟通信体制不可逆转地被数字通信体制替代。

现代通信网发展第二阶段的主要技术特征是自动交换、数字传输体系、卫星通信等共同作用而实现的综合通信网。

(3) 第三阶段

现代通信网发展的第三阶段大致在20世纪的70年代~80年代。1970年一根涂有二氧化

硅的光导纤维的传输损耗达到了 20dB/km, 而 1959 年激光的发明导致光通信技术的起步。1966 年在美国国防部高级研究计划署的资助下, 建立了第一个分组交换实验网—ARPA 网 (Arpanet), 1971 年开始投入试验运行。分组交换的概念早在 1964 年由美国空军兰德公司的 Paul Baran 提出, 而在 Larry Roberts 领导下的 ARPA 网, 使分组交换技术得到了发展和广泛的应用。1974 年 R.M.Metcalf 和同事们作为实验计划, 开始了后来最为人们熟悉的以太网 (Ethernet) 研究。同一时期 Norman Abramson 在夏威夷大学主持了第一个分组无线电网 ALOHA (Alohanet) 的研究。从此数据通信网从主要面向终端的系统, 进展到以分组交换为基础的计算机之间的互连。在此期间, 作为不同产品实现网络互连所必须的网络体系结构、协议和标准开始制定, 并得到世界广泛公认。1964 年美国信息交换标准码 (ASCII 码) 颁布, 1969 年电子工业协会推荐的第一版本标准 RS232D, 使编码信息可以通过调制解调器在电话网中传递。1976 年国际电话电报咨询委员 (原 CCITT, 1993 年起成为国际电信联盟 ITU 的标准化部门) 提出了具有深刻影响的 X.25 协议建议, 为分组交换网在世界各地的推广打开了大门。在原 CCITT 的协助下, 国际标准化组织 (ISO) 1978 年通过了“开放式系统互连 OSI”参考模型, 对以后网络分层工作模式和通信协议的发展具有深刻的影响。

现代通信网发展的第三阶段中, 数据通信网开始成为通信网的重要组成部分。在这阶段, 通信信息中非语音内容显著增加, 如大量数字化图像的情报、导航、定位和计算机信息等。1982 年美国开始建设国防数据通信网。在 1990 年第二期工程结束时, 建立了 500 多个分组交换节点, 能连接 14 000 台各类计算机或数据终端设备, 允许其中 6 400 台同时工作, 并配置使用移动分组交换设备。主要提供美国国家部门和部队之间进行图像、数据和电子函件的传递功能。在 20 世纪 80 年代后期一些西方国家试验发展了以快速包分组交换为基础的战术 (役) 通信网, 提供数据通信为主、辅助语音通信的业务。

现代通信网发展的第三阶段中, 大容量的光纤传输系统、数字微波系统开始形成, 并取代电缆逐渐成为地面干线传输的主要手段。抗干扰通信如跳频、扩频、频率自适应、天线自适应调零和猝发通信, 以及保密通信被普遍采用。通信网从过去的语音业务为主, 开始形成语音和数据业务并重的局面。

现代通信网发展的第三阶段的主要技术特征是数据网络、分组交换系统和大容量光纤、数字微波传输体系的形成。

(4) 第四阶段

现代通信网发展的第四阶段开始于 20 世纪 80 年代中期。1972 年原 CCITT (现为 ITU-T) 在 G.703 建议中初步定义了综合业务数字网 (ISDN) 的概念, 1984 年通过了 ISDN 的 I 系列建议, 被称为 ISDN 发展的第一个里程碑。1988 年原 CCITT 的蓝皮书及以后的 ITU-T 系列建议书, 对 1984 年 ISDN 建议进行了进一步的阐述和发展。在 ISDN 提出以前, 尽管已建立综合传输体系, 但通信网都以专用目的设计建设, 如电话通信网、电报通信网、有线电视网、分组数据交换网等。公用电话通信网建立在每路约 3kHz 的带宽上, 有线电视网视频信号建立在每路 6MHz 的信道带宽基础上, 并按均匀速率 (带宽) 设计的。对不同速率的非话业务 (传真、数据) 在电话网上的传输, 需要较高代价的辅助适配设备。通信网的专用化设计, 使网络对不同业务的兼容性、灵活性和资源利用率存在严重不足。所以在数字传输系统和数字交换发展以后, 随着用户对各种新业务需求的增长, 产生了建立一个支持各种业务的数字通信网思想, 即 ISDN。这是一种全数字化、业务综合化、传输与交换一体化和标准用户接口

的全新通信网。ISDN 提供电话、数据、文字、图像业务和线路承载（租用）。在 20 世纪 80 年代的原 CCITT-I 系列建议中，提供基于 64kbit/s 数字传输率的 144kbit/s 基本速率接口（其用户的标准接口速率是两个全双工 64kbit/s 的 B 信道和一个全双工 16kbit/s 的信令 D 信道，简称 2B+D），与 1.5Mbit/s 或 2.09Mbit/s 的一次群速率接口。这样的速率可以支持广泛的业务，但不支持高速率的业务，如动态图像、视频信号和局域网互连。通常称 64kbit/s 的 ISDN 为窄带 ISDN（N-ISDN）。

现代通信网发展的第四阶段，计算机通信网，特别是 Internet 及其网上应用系统的出现，极大地推动了多媒体通信的发展。国防通信网开始从原来的传输网向信息网转化，如美军原来的国防通信系统（Defence Communication System, DCS）开始转化为国防信息系统网（Defence Information System Network, DISN）。通信网逐步形成信息传输和应用一体化的趋势。

现代通信网发展的第四阶段主要技术特征是 ISDN 和互连网的形成。

2. 现代通信网的发展趋势

在当今科技高速发展的年代，信息呈爆炸式出现和广为人们所利用，作为信息的载体一网络及其发展也格外为人们所重视。因此，研究和探讨未来通信网发展的趋势，从容地应对挑战必须引起我们的高度重视。

具体来讲，现代通信网发展的趋势主要体现在以下 5 个方面。

（1）网络业务数据化

100 多年来，通信网的主要业务一直是电话业务，因而通信网一般称为电话通信网。传统的电话网设计都是以恒定对称的话务量为对象的，网络呈资本密集型，通信网容量与话务容量高度一致，业务和网络均呈稳定低速增长。近 10 年来，随着信息技术的发展和信息时代的到来，信息交流日益广泛，电话用户的增长率平均为 5%~10%。然而，近年来，由于计算机的广泛应用和普及，数据业务正呈现指数式增长态势，平均年增长率达 25%~40%，远高于电话业务的增长。特别是 IP 业务正呈现爆炸式增长，其规模和业务量已达到了 6~12 个月左右就翻一番的地步，比著名的 CPU 性能进展的摩尔定律（约 18 个月左右就翻一番）还要快 1.5~3 倍。显然，按此趋势，用不了几年，通信网上的数据业务将会超过电话业务。在北美，有些通信网（诸如太平洋贝尔）上数据业务已经超过电话业务，即便像 AT&T 这样的老牌电信公司的通信网，数据业务也已在 2001 年前后就超过了电话业务。可以断言，最终，通信网的业务将主要由数据业务构成，而非电话业务。随着通信数据处理量日益增加，特别是信息涉及范围的进一步拓宽，通信网业务数据化已成为不可阻挡的潮流。

（2）网络信道光纤化

鉴于光纤的巨大带宽、小重量、低成本和易维护等一系列优点，从 20 世纪 80 年代中期以来，通信网的光纤化一直是包括中国在内的世界各国通信网发展的主要趋势之一。开始，光纤化的重点是长途通信网，然后转向中继网和接入网的馈线段，目前正在逐渐向配线段延伸。我国长途通信网的光纤化比例也已高达 80% 以上。然而，随着光纤逐渐向覆盖更小区域和更远的距离推进，其光纤化的代价将变得越来越高。除非技术上有重大突破，光纤到家将是一项十分艰巨的任务。对我国来说，光纤到楼、光纤到小区和光纤到路边是中、近期比较现实的目标。

在新一轮通信网的光缆建设高潮中，有四个重要的技术新特点。其一是统一采用新一代的非零色散光纤，特别是大有效面积光纤和低色散斜率光纤。目的是为了支撑下一代超高速超大

容量通信网。其二是光缆芯数明显增加,平均可高达 100 芯以上。目的主要是为了转售光纤。其三是普遍采用以 10Gbit/s 为基础的密集波分复用。按照这三个特点,目前干线路由横截面的传输能力可以高达 10Tbit/s,而传输成本可望比传统传输系统降低一个量级左右。其四主要是设计以数据业务特别是 IP 业务为中心的融合通信网,当然也计划将来支持语音业务。

(3) 网络容量宽带化

随着数据业务量特别是 IP 业务量的飞速增长,主要有以下三大类应用对以电话业务量为主的传统的通信网形成越来越大的压力。

① 大量低延时数据业务应用(诸如 Web 浏览、LAN)需要高带宽。诸如 Web 浏览的典型带宽可从数百 kbit/s 到数 Mbit/s,而 LAN 的典型带宽可从数 Mbit/s 到上百 Mbit/s。

② 本身带宽窄,但通信量极大的业务应用(诸如电话、E-mail)也需要很高的网络带宽。而且除了电话业务特别是蜂窝移动电话业务在继续增长外,目前 E-mail 的附件规模正变得越来越大。

③ 固有的宽带应用(诸如图像、文件备用)更需要高带宽。

上述三者结合在一起形成了对传统通信网巨大的业务量压力。除此以外,由于网络生存性要求,以 DXC 选路和自愈环为基础的自愈网分别需要多消耗 30%~60%和 100%的额外网络容量。上述因素导致网络容量需求的巨大压力,使核心网和接入网的宽带化成为日益紧迫的任务。

从核心网看,这几年 SDH 已成燎原之势,全世界已敷设了大约 80 万个独立网,其速率已高达 10Gbit/s。然而其潜力已尽,但光纤的容量仅利用了 1%左右。理论上,光纤的可用带宽至少有 25THz,比全部无线的可用频谱 30GHz 大将近 1 000 倍。采用新的光纤设计后,其可用带宽还将大大增加。显然,只有采用波分复用技术才可能充分利用这一巨大无比的带宽资源,使传输容量比单波长增加几十倍至几百倍。由于波分复用的应用,网络链路容量有了新的突破性进展。目前,一对光纤的实际传输容量已达 160Gbit/s ($16 \times 10\text{Gbit/s}$) 和 100Gbit/s ($40 \times 2.5\text{Gbit/s}$),实验室已完成 1Tbit/s ($100 \times 10\text{Gbit/s}$) 的试验。另一方面,网络节点的通透量也均已突破 60~80Gbit/s,总通透量超过 1Tbit/s 的路由交换机也即将问世。

从长远看,仅有波分复用链路而不消除节点“瓶颈”是无法真正实现通信网络容量宽带化的。因而,引入以光分插复用器和光交叉连接器节点为特征的光传送网是最终解决网络容量宽带化的手段。届时,可以利用 WDM 选路方式来实现一个高度透明、高度可靠、网络节点和链路容量不断增长,并能混合不同体制、格式和速率的信号,可互联现有通信系统及任何未来新通信系统的超宽带传送网。

从接入网看,各种宽带接入技术争奇斗妍。ADSL 和 HFC 的下行速率分别可达 6Mbit/s (独占)和 10Mbit/s (共享),而窄带 PON (无源光网络)系统每户可获得 2Mbit/s 带宽,以 ATM 为基础的宽带 PON (APON)的下行速率和上行速率分别可达 622Mbit/s 和 155Mbit/s。通过利用 ATM 的集中和统计复用,再结合无源分路器对光纤和光线路终端的共享作用,APON 成本可望比传统的以电路交换为基础的 PDH/SDH 接入系统低 20%~40%。因此,从长远的观点看,面对日益丰富多彩的多媒体业务和呈爆炸式增长的 IP 业务的压力,APON 可能是一种结合 ATM 多业务多比特率支持能力和 PON 透明宽带传送能力的比较理想的长远解决方案,代表宽带接入技术的最新发展方向。这些技术的综合利用,将会给传统通信网带来极高的网络容量。为现代通信信息的高速大容量传输提供了强大的物质基础。

从现代通信网处理的具体业务上来看,随着信息技术的发展,用户对宽带新业务的需求开始迅速增加。光纤传输、计算机和高速数字信号处理器件等关键技术的进展,使宽带综合业务数字网(B-ISDN)的实现成为可能。而B-ISDN充满光明的前景,又极大地鼓舞和推动了各国B-ISDN的发展。1993年初美国正式提出了信息高速公路计划,引起世界各国的广泛关注和强烈反应。1993年12月欧共体提出了建立欧洲“信息高速公路”计划。西方和亚洲国家纷纷拨巨资建设自己的信息高速公路。信息高速公路的核心就是B-ISDN。

B-ISDN以灵活的速率为用户提供所希望的几乎所有业务,如高分辨率电视、音乐、可视电话、电视会议、视频图像、语音、电子函件、信息检索、远程教育和商务、高速数据传输、局域网互连等。B-ISDN基础是新的光干线传输体系、异步转移模式(ATM)传输方式、复用和交换。B-ISDN开始引起一场新的技术革命,它的建成将完全改变人们生活、工作和相互交流的方式。至今B-ISDN在规划、基础设施建设、关键技术开发研究上已有很大进步。以ATM技术为核心的B-ISDN已进入实用化阶段,有大量的ATM产品问世。以ATM交换机为骨干组建的大型广域网已开始出现,可承载ATM、帧中继、电路仿真、N-ISDN等多种业务,能提供远程医疗、远程教学、视频点播等服务。ATM论坛承载声音和电话系列标准已经推出。ATM可以以25Mbit/s、155Mbit/s及622Mbit/s速率运行,目前已达2.488Gbit/s。在ATM进入实用化的同时,全光干线传输体系和Internet也都取得了很大进展,IPV6IP电话开始接近实用,很可能形成以全光干线传输体系为基础,ATM及IP(或某种形式混合体)为交换协议的未来通信网。

(4) 网络接入无线化

100多年来,无论是核心网,还是接入网,通信网基本上是有线通信业务的一统天下。只有在一些特殊的时期和特殊的地区,无线才有过短暂的辉煌。然而,随着光纤的出现和飞速发展,无线的地位再次衰退下去。目前在传统通信网干线网上,光纤系统的成本已比微波系统低一个量级以上,微波通信系统只能作为一种通信网的补充和辅助手段而存在。就接入网而言,传统的无线一点多址系统也只有偏远地区和特殊地理区域才占有一席之地。

然而,近几年来,随着蜂窝移动通信系统和固定无线接入系统的出现和飞速发展,无线在通信网中的地位正在发生根本性的变化。蜂窝移动接入的方便、个性化特性使其成为信息时代的宠儿。随着语音压缩技术、信号处理技术与智能天线技术的进一步发展,蜂窝移动通信系统的性能价格比还有极大的改进潜力。据各种研究报告的综合分析结果表明,全球蜂窝移动用户在2008年左右将可能达到13亿,与有线用户数基本持平。以后将逐渐超过有线用户,从数量上成为网络接入的主要手段。我国的情况估计大约滞后6~8年,预计在2010年至2015年之间,无线用户数将会逐渐超过有线用户数。从固定无线接入的角度看,由于无线接入技术本身应用灵活,安装速度快,建设周期短等优势,以及地理应用环境的无限制特性,经过几年的准备和商用,也逐渐进入了快速发展阶段,年增长率达80%左右。今后这种通信网接入的无线化趋势将会越来越明显。

(5) 网络传输分组化

具有100年历史的电路交换技术尽管有其不可磨灭的历史功勋和内在的高质量、严管理优势,但其基本设计思想是以恒定对称的话务量为中心,采用了复杂的分等级时分复用方法,语音编码和交换速率为64kbit/s。对于未来以突发性数据为主的业务而言,尽管采取种种措施后,也可以传输,但效率较低,传输成本和交换成本较高,网络资源浪费以及必须采用复杂