

电力数据 通信技术与应用



路俊海 赵宏昊 孟凡博 等/著

Electric Power Data Communication
Technology and Application



科学出版社

电力数据通信技术与应用

路俊海 赵宏昊 孟凡博 等 著

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书旨在探讨在电力行业信息通信业务的发展规模逐渐扩大并日趋复杂的背景下,数据通信网络如何在具有较高资源利用率的前提下,满足电网各种信息通信业务的数据获取要求,利用先进的计算机技术,融合先进的数据通信网建网理念,探讨出一套符合电力行业发展需求的数据通信网络建网思路。

本书从计算机网络发展趋势、电力企业信息通信发展趋势、电力企业数据通信网网络现状、电力数据通信网组网架构实例等方面进行讨论和研究。

本书可供从事电力系统通信研究和规划建设的科技人员参考,也可供对数据通信技术在电力场景中应用感兴趣的读者阅读。

图书在版编目(CIP)数据

电力数据通信技术与应用/路俊海等著. —北京:科学出版社, 2017.1

ISBN 978-7-03-050764-8

I. ①电… II. ①路… III. ①电力工业-数据通信-通信技术-研究 IV. ①F426.61 ②TN919

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第284170号

责任编辑:张震 任彦斌/责任校对:彭珍珍

责任印制:徐晓晨/封面设计:无极书装

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京中石油彩色印刷有限责任公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2017年1月第一版 开本:720×1000 1/16

2017年1月第一次印刷 印张:14

字数:266 000

定价:86.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

《电力数据通信技术与应用》编委会

主任委员：路俊海

副主任委员：

赵宏昊 孟凡博 杨斌 杨琦 王磊

许元斌 陈宏

编委：

刘刚 王鹏举 申扬 王荣茂 崔文军

刘忠海 邱金辉 田海韬 葛启栋 刘一涛

邵春锋 赵思雯 姜日敏 卞晓光 邹愚

王晓彤 李道圣 范继平 王一博 郑学明

黄长贵 叶跃骈 姚晓勇 谢石木林 欧清海

金鑫 孙庆阁 董宏宇 高凯 王漪

曾令康 张喆 李温静 于华东 吴庆

刘柱 廖道 夏泳 赵永彬 雷振江

吕旭明 卢斌 周英男

前 言

随着电网规模不断扩大和公司经营管理方式变革，电力信息通信业务规模呈现快速增长，电力信息通信网络规模逐渐扩大，结构日趋复杂。现代电网已经发展成为包括现代信息通信系统和先进监测控制系统的复杂交互式大电网，由于电网负荷增长与社会经济发展关系密切，所以电力信息通信系统在建设、规划时，也体现出与社会经济密切的相互作用。电力数据通信网络的建设将承载着电力信息通信业务，满足电力行业信息通信稳定运行的需要，对社会经济发展提供稳定的电力信息通信保障。

本书针对电网信息通信业务的特征，以电力网络为依托，以最新现代通信技术为基础，辅以作者多年来在光传送网、IP网、同步网以及电力通信专网领域的研究成果和参与国家相关重大项目的经验，系统全面地分析了电力数据通信技术对电力网络的影响，并提出了一些面向未来电网新的数据通信组网理念。本书第1章介绍了数据通信网总体发展趋势及电力数据通信网组网趋势；第2章介绍了数据通信基础、计算机网络、TCP/IP协议、路由协议以及计算机网络设备；第3章介绍了数据通信技术泛在网络、新信息服务、云计算、下一代网络、IPv6、物联网等领域的发展进程；第4章主要从网络层面、运维层面、业务层面对电力数据通信网现状进行全面分析；第5章介绍了在最新的数据通信技术下电力数据通信网的发展方向；第6章以国家电网数据通信网为实例进行数据通信网建设的总体建网思路的梳理并提出建网方案；第7章介绍了IPv6、物联网、智能电网、云计算的应用。

本书由国家电网公司、国网辽宁省电力有限公司、国网信息通信产业集团有限公司、辽宁邮电规划设计院有限公司、沈阳华润热力有限公司等单位相关专家策划编写。全书由路俊海负责审核与统稿。第1章由赵宏昊、孟凡博、杨斌、杨琦、王磊、许元斌、陈宏编写；第2章由刘刚、王鹏举、申扬、王荣茂、崔文军、刘忠海、邱金辉编写；第3章由赵思雯、田海韬、葛启栋、刘一涛、邵春锋、姜日敏、卞晓光编写；第4章由邹愚、王晓彤、李道圣、范继平、王一博、郑学明、黄长贵编写；第5章由谢石木林、姚晓勇、叶跃骈、欧清海、

金鑫、孙庆阁、董宏宇、高凯编写；第6章由王漪、曾令康、张喆、李温静、于华东、吴庆、刘柱编写；第7章由廖道、夏泳、赵永彬、雷振江、吕旭明、卢斌、周英男编写。

衷心感谢科学出版社对本书出版工作的大力支持！

由于作者水平所限，编写时间较为仓促，书中内容难免会出现疏漏与不当之处，敬请读者批评指正。

作 者

2016年5月

目 录

前言	
第 1 章 概述	1
第 2 章 数据通信技术基础	4
2.1 数据通信概述	4
2.1.1 数据通信的概念	4
2.1.2 数据通信系统的构成	4
2.1.3 数据通信业务	5
2.1.4 模拟通信、数字通信和数据通信	7
2.1.5 数据通信网络	8
2.2 数据通信基础	10
2.2.1 信息、数据和信号	10
2.2.2 信息及其度量	11
2.2.3 模拟通信系统的主要质量指标	12
2.2.4 数字通信系统的主要质量指标	12
2.2.5 信道及其容量	14
2.2.6 多路复用技术	15
2.2.7 通信方式	18
2.2.8 传输介质	20
2.3 数据通信计算机网络	37
2.3.1 计算机网络的定义及类别	37
2.3.2 计算机网络的基本概念	39
2.3.3 OSI 模型	39
2.3.4 TCP/IP 模型	52
2.3.5 Internet 的路由选择协议	62
2.4 计算机网络设备简介	82
2.4.1 交换机	82
2.4.2 路由交换机	83
2.4.3 四层交换机	85
2.4.4 路由器	86
第 3 章 数据通信技术发展	89
3.1 泛在网络与泛在计算	89

3.2	新信息服务	90
3.3	云计算	91
3.4	下一代网络	93
3.5	网络融合	96
3.6	下一代互联网协议 IPv6	97
3.6.1	IPv6 产生的原因	97
3.6.2	IPv6 的头部结构	99
3.6.3	IPv6 地址结构	101
3.7	物联网	105
第 4 章	电力数据通信网现状分析	109
4.1	数据通信网现状	109
4.1.1	数据通信骨干网现状	109
4.1.2	各省数据网络现状	110
4.1.3	传输承载网现状	119
4.1.4	业务承载现状	121
4.1.5	运维管理现状	125
4.2	需求分析	128
4.2.1	业务应用承载需求概述	129
4.2.2	一级业务部署需求分析	130
4.2.3	二级业务部署需求分析	149
4.2.4	各省公司数据网络提升需求	152
4.3	问题总结	153
4.3.1	难以保障一级业务的综合承载与快速部署	153
4.3.2	难以支撑整体网络的性能提升和灵活扩展	154
4.3.3	难以实现全程全网的运维协同与效率提升	154
第 5 章	电力数据通信网优化整合	156
5.1	数据通信网优化整合目标	156
5.2	数据通信网优化整合思路	156
5.2.1	技术标准延伸	157
5.2.2	网络架构延伸	158
5.2.3	结论	161
5.3	工作路径	161
第 6 章	电力数据通信网工程案例	163
6.1	数据通信网优化整合原则	163
6.2	数据通信网建设蓝图	163

6.3 各省网络优化目标	165
6.4 优化整合技术方案	171
6.4.1 BGP 方案	171
6.4.2 IGP 方案	178
6.4.3 MPLS VPN 方案	184
6.4.4 QoS 方案	191
6.4.5 组播方案	195
6.4.6 传输资源	198
6.4.7 接入方案	200
6.4.8 外网业务承载	201
6.4.9 专业网管系统	204
第 7 章 电力数据通信技术展望	209
7.1 IPv6 技术应用	209
7.2 物联网技术应用	210
7.3 智能电网	211
7.4 云计算技术应用	212
参考文献	214

第1章 概述

信息技术的发展，拓展着人类感知、处理、存储、传递的能力，正在为人类开拓出一个崭新的生存空间。网络已经成为继陆、海、空、天之后的国家第5大主权空间。习近平主席关于“没有网络安全，就没有国家安全”、“没有信息化，就没有现代化”的科学论断，揭示了网络安全及信息化在国家战略中的重要地位和作用。

互联网是20世纪最伟大的发明之一，自从1994年我国首次全功能接入互联网，中国互联网已经过20多年的发展，网民规模迅速扩大。截至2015年6月，中国网民已达6.68亿人，超过整个欧盟的总人口数量。随着现代信息和网络技术的不断发展和广泛应用，国际信息化浪潮更加深刻地影响和改变着人们的生产方式、生活方式、工作方式，不断推出的各种网络接入更加便捷，应用更加多样，内容极大丰富，网络已经变得“无处不在、无时不在、无所不包”，极大地促进了国家经济、政治、文化、社会等各个方面的发展。信息已经成为人类社会发展的关键战略资源。对中国而言，网络空间最大限度地激发了信息化高速发展的活力，蕴涵着新一轮技术革命的丰厚能量，网络技术的迭代式发展和互联网公司的创新应用，使互联网经济成为拉动消费需求的重要力量。网络空间为维护、延长中国的战略机遇期赢得了新的发展机会，又为中国开拓新的发展空间创造了历史条件。但与此同时，网络和业务发展过程中也出现了许多新情况、新问题、新挑战，世界各国对信息安全的重视程度不断提高，国际信息安全领域动作频繁，各国政府、军队、相关企业成为该领域的主角。美国著名未来学家托夫勒预言：“计算机网络的建立与普及将彻底地改变人类生存及生活的模式，而控制与掌握网络的人就是主宰。谁掌握了信息，控制了网络，谁就将拥有整个世界。”网络信息安全已经成为国家战略重点。云计算、云安全、大数据、物联网、智慧地球、智能化安全产品、网络战等新概念、新技术和新产品层出不穷，国际信息安全领域的发展呈现出一些新特点和新趋势。发展信息安全工程技术已成为世界各国信息化建设的重要任务，信息安全已成为维护国家安全和社会稳定的重要基石。

2000年初，国家启动了“十五”重大科技攻关项目“国家信息安全应用示范工程”，国家电网公司承担电力系统信息安全示范工程项目。辽宁省电力有限公司成为电力系统信息安全示范工程试点单位，全面组织“辽宁电力系统信息安全应用示范工程”。2002年启动了国家“863”项目“国家电网调度中心安全防护体系研究及示范工程”，提出了我国电力系统信息安全防护总体策略：“安全分区、网

络专用、横向隔离、纵向认证”。由此形成了以边界防护为要点、多道防线构成的纵深防护体系。2006年，国家电网公司实施了信息化 SG186 工程，全面建设一体化企业级信息集成平台，人、财、物等 8 大类业务应用，技术、标准、安全防护等 6 个保障体系，大力推进集团企业的信息化建设，推动信息化向集中统一和优化整合方向发展。2011 年，国家电网公司在 SG186 工程的基础上，全面启动了“覆盖面更广、集成度更深、智能化更高、安全性更强、互动性更好、可视化更优”的信息化 SG-ERP 工程建设，根据电网信息安全防护特点，建设电网信息安全三道防线以实现网络纵深防御，进一步提升了信息系统的安全保障能力，我国电力信息安全达到国际一流水平。

2014 年 2 月 27 日，中央网络安全与信息化领导小组成立，由中共中央总书记、国家主席习近平担任组长，李克强总理担任第一副组长，统筹协调各个领域的网络安全和信息化重大问题，制定实施国家网络安全和信息化发展战略、宏观规划和重大政策，不断增强全保障能力。习近平主席关于“没有网络安全，就没有国家安全”、“没有信息化，就没有现代化”的科学论断，将网络安全及信息化国家战略提高到前所未有的高度，预示着中国在打一场网络安全和信息化的翻身仗方面，也将迎来新的历史突破。强化网络信息安全，并与国家信息化整体战略双轮驱动，对中华民族伟大复兴，实现两个一百年奋斗目标具有战略意义。

为支撑当前及未来电力企业各级信息化系统业务应用的承载需求，增强数据通信网络的优质服务水平，推动电力企业信息化新技术和新业务的部署和落地，电力企业于 2012 年开展了数据通信骨干网的技术改造工作。

目前，数据通信骨干网技术改造项目已通过竣工验收，建成了利用 OTN 光传输网，以 10GE 链路为主、覆盖电力系统 71 个节点的高速数据通信骨干网络平台，实现了核心区域网状连接、各区域内双星型上联的网络架构。

通过骨干网层面的改造工作，强化了国家电网公司骨干网络的稳定性，优化了骨干网范围内数据通信网络的资源配置，解决了业务集中化的新形势下数据通信网络 IGP 路由技术选型问题，首次在全国家电网公司范围的骨干网上应用 IS-IS 协议并实现了 6VPE 承载方式，具备了以 IPv6 为基础的下一代网络承载能力。

电力企业数据通信网整体效能的发挥有赖于全网一体化的网络架构与运维管理，而国家电网公司数据通信网以往主要采用各省分散建设、分级运维的管理模式，各级单位之间在网络技术体制、层次结构、配置标准、运行策略、协议参数、设备类型、维护模式等方面均存在明显差异。如果仅将数据通信网改造的范围停留在骨干网，一方面，骨干网与各省数据网络难以形成全程全网的合力，国家电网公司数据通信网的整体效能无法得到实质提升；另一方面，网络分层分段的管理模式下，协调环节多，不利于端到端的业务保障与应急联动，也不利于一级业

务的集中部署与新技术应用的快速上线。因此，国家电网公司将在数据通信骨干网建设的基础上，结合当前及未来业务发展与网络演进的实际需求，按照统一的标准和规范，对电力公司数据通信网开展优化整合工作，实现数据通信骨干网向省级及以下数据网络的技术标准延伸和网络架构延伸。

第 2 章 数据通信技术基础

2.1 数据通信概述

2.1.1 数据通信的概念

传输数据信号的通信是数据通信，为了使整个数据通信过程按一定的规则有顺序地运行，通信双方必须建立一定的协议或约定，并且具有执行协议的功能，这样才实现了有意义的通信。

严格来讲，数据通信的定义是：依照通信协议，利用数据传输技术在两个功能单元之间传递数据信息，它可以实现计算机与计算机、计算机与终端以及终端与终端之间的数据信息传递。数据通信的终端设备（产生的是数据信号）可以是计算机，也可能是除计算机以外的一般数据终端，一般数据终端简称数据终端或终端。

通常而言，数据是计算机与通信相结合而产生的一种通信方式和通信业务。可见，数据通信是一种把计算机技术和通信技术结合起来的通信方式。

从以上数据通信的定义可以理解，数据通信包含两方面内容：数据的传输和数据传输前后的处理，如数据的集中、交换、控制等。

2.1.2 数据通信系统的构成

数据通信系统是通过数据电路将分布在远地的数据终端设备与计算机系统连接起来，实现数据传输、交换、存储和处理的系统。数据通信系统的基本构成如图 2.1 所示。

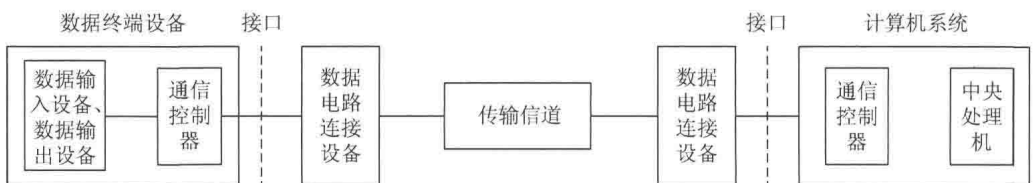


图 2.1 数据通信系统的基本构成

1. 数据终端设备

数据终端设备（data terminal equipment, DTE）由数据输入设备（产生数据的数据源）、数据输出设备（接收数据的数据宿）和通信控制器组成。

数据输入设备、数据输出设备的作用类似于电话与电报通信中的电话机和电传机，它在发送端把人们的数据信息变成以数字代码表示的数据信号，即将数据转换为数据信号；接收端完成相反的转换，即把数据信号还原为数据。

通信控制器的作用是完成各种传输控制，如差错控制、终端的接续控制、确认控制、传输顺序控制和切断等控制等。

DTE 是一个总称，根据实际需要采用不同的设备。例如，在发送数据中，DTE 可以是键盘输入器；在接收数据中，它可以是屏幕显示设备（CRT），也可以是激光打印机等。当然，具有一定处理功能的个人计算机也可以称为 DTE。

2. 数据电路

数据电路位于 DTE 与计算机系统之间，它的作用是为数据通信提供传输通道。在数据电路两端收发的是二进制（0 或 1）的数据信号。数据传输电路要保证将 DTE 的数据信号送到计算机系统以及由计算机系统送回 DTE。

数据电路由传输信道及其两端的数据电路终接设备（data circuit-terminating equipment, DCE）组成。

1) 传输信道

传输信道包括通信线路和通信设备。通信线路一般采用电缆、光缆、微波线路等；而通信设备可分为模拟通信设备和数字通信设备，从而使传输信道分为模拟传输信道和数字传输信道。另外，传输信道中还包括通过交换网的连接或者专用线路的固定连接。

2) DCE

DCE 是 DTE 与传输信道的接口设备。当数据信号采用不同的传输方式时，DCE 的功能有所不同。

基带传输时，DCE 对来自 DTE 的数据信号进行某些变换，使信号功率谱与信道相适应，即使数据信号适合在电缆信道中传输。

频带传输时，DCE 具体是调制解调器，它是调制器和解调器的结合。发送时，调制器对数据信号进行调制，将其频带搬移到相应的载频频带上进行传输（即将数据信号转换成适合于模拟信道上传输的模拟信号）；接收时，调制器进行解调，将模拟信号还原成数据信号。

当数据信号在数字信道上传输时，DCE 是数据服务单元（data service unit, DSU），其功能是信号格式的变换，即消除信号中的直流成分和防止串零的编码、信号再生和定时等。

2.1.3 数据通信业务

数据通信提供的业务主要包括分组交换业务、数字数据业务、一线通业务、

帧中继业务、数据增值业务、VSAT 通信业务和宽带业务等。

1. 分组交换业务

分组交换业务以 CCITT X.25 协议为基础,能满足不同速率、不同型号的终端与终端,终端与计算机,计算机与计算机间的通信,实现资源共享。

分组交换业务提供的业务功能主要包括以下几种。

(1) 基本业务功能:指分组交换网向所有网上的客户提供的服务,即要求网络能在客户之间“透明”地传送信息。分组交换网一般通过“虚电路”来建立传送信息的信息通路,虚电路有两种方式:交换虚电路(SVC)和永久虚电路(PVC)。

(2) 用户任选功能:主要有闭合用户群、反向计费、网络用户识别、呼叫转移、虚拟专用网、广播功能、对方付费、计费信息显示、直接呼叫等业务。

(3) 增值业务功能:分组交换网可以利用其网络平台提供多种数据通信增值业务,如电子信箱、电子数据交换(EDI)、可视图文、传真存储转发、数据库检索等。

2. 数字数据业务

数字数据业务是数字数据网(DDN)提供的、速率在一定范围内(200bit/s~2Mbit/s)任选的信息量大、实时性强的中高速数据通信业务。

DDN 的主要作用是作为分组交换网、公用计算机互联网等网络中继电路,可提供点对点、一点对多点的业务。主要包括如下。

(1) 帧中继业务。

(2) 语音、G3 传真、图像、智能用户电报等业务。

(3) 虚拟专用网业务。

3. 一线通业务

一线通业务即窄带综合业务数字网(N-ISDN)提供的业务,包括基本业务和补充业务。基本业务又包括承载业务和用户终端业务。在承载业务中,网络向用户提供的只是一种低层的信息转移能力,与终端的类型无关,分为电路交换的承载业务和分组交换的承载业务。用户终端业务包括用户电报、数据通信业务、视频业务等。补充业务主要有三方会议、呼叫转接、呼叫等待等。

4. 帧中继业务

帧中继业务是在帧中继用户、网络接口之间提供用户信息流的双向传送,并保持原顺序不变的一种承载业务。帧中继网络提供的业务有两种:永久虚电路(PVC)和交换虚电路(SVC)。

5. 数据增值业务

数据增值业务是通过计算机处理的信息服务,以及计算机与通信网结合对传送的信息进行加工处理后的服务。主要包括如下。

(1) 电子信箱业务:利用计算机网络系统的处理和存储能力,为用户提供能存取和传递文电、信函、传真、图像、语音或其他形式信息的业务。

(2) 电子数据互换业务(电子贸易):通过计算机网络将贸易、运输、保险、银行和海关等行业信息,用一种国际公认的标准格式,实现各有关部门或公司与企业之间的数据交换与处理,并完成以贸易为中心的全部过程。

(3) 可视图文业务:可视图文是一种公用性、开放性、交互性的信息服务系统,利用数据库通过公用电信网向配备专用终端设备或个人计算机等可视终端的用户提供文字、数据或图形等可视信息服务。

6. VSAT 通信业务

甚小天线地球站(VSAT)指具有甚小口径天线的智能化小型式微型地球站。VSAT 业务是通过多个小站和一个主站与通信卫星转发器组成的卫星通信网络,为用户提供点到点、点到多点的通信业务。

VSAT 系统具有广泛的业务功能,除了个别宽带业务外,VAST 网几乎可支持现有的多种业务,包括语音、数据、传真、LAN 互连、会议电视、可视电话、采用 FR 接口的活动图像和电视、数字音乐等。

7. 宽带业务

目前,对宽带还没有一个公认的定义,从一般的角度理解,它是能够满足人们感官所能感受到的各种媒体在网络上传输所需要的网络带宽,因此它是一个动态的、发展的概念。对家庭用户而言,在满足语音、图像等大量信息传递的需求下,一般以传输速率 512Kbit/s 为分界,将 512Kbit/s 以下的接入称为“窄带”,512Kbit/s 及其以上的接入则被归类为“宽带”。

宽带业务主要包括视频点播、远程教育、远程医疗、电子商务、举行电视会议、拨打视频电话等。

2.1.4 模拟通信、数字通信和数据通信

通信传输的消息有多种形式,如符号、文字、数据、语音、图形、图像等。它们大致可归纳成两种类型:连续消息和离散消息。连续消息指消息的状态是随时间连续变化的,如强弱连续变化的语音。离散消息指消息的状态是可数的或离散的,如符号、文字和数据等。通常,人们把连续消息和离散消息分别称为模拟

消息和数字消息。

这两种消息可以用不同的信号来传输。这里所述的信号就是通信系统在传输介质中传输的信号 $s(t)$ ，它有两种基本形式。

一种是模拟信号，其信号的波形可以表示为时间的连续函数，如图 2.2 (a) 所示。这里，“模拟”的含义是指用电参量（如电压、电流）的变化来模拟源点发送的信息。如电话信号就是话音声波的电模拟，它是利用送话器的声/电变换功能，把话音声波压力的强弱变化转变成话音电流的大小变化。以模拟信号为传输对象的传输方式称为模拟传输，以模拟信号来传送消息的通信方式称为模拟通信，而传输模拟信号的通信系统称为模拟通信系统。

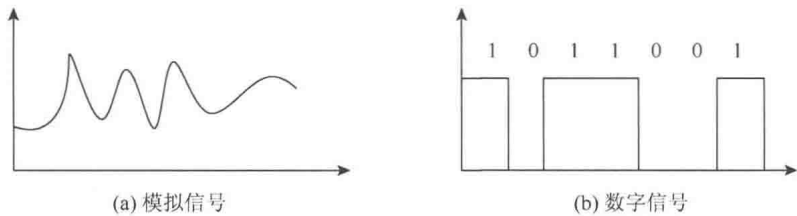


图 2.2 模拟信号与数字信号

另一种是数字信号，其特征是幅度不随时间连续变化，只能取有限个离散值。通常以两个离散值（0 和 1）来表示二进制数字信号，如图 2.2 (b) 所示。以数字信号为传输对象的传输方式称为数字传输，以数字信号来传送消息的通信方式称为数字通信，而传输数字信号的通信系统称为数字通信系统。

与模拟通信相比，数字通信具有以下优点：抗干扰性强、保密性好、设备易于集成化和便于使用计算机技术对其进行处理等。它的主要缺点是占用的信道频带比模拟通信宽得多，降低了信道的利用率。但随着信道性能的改善，这一问题将得到解决。

数字通信是通信技术和计算机技术相结合而产生的一种新的通信方式。从某种意义上来说，数据通信可看成是数字通信的特例，具有数字通信的一切优点。数据通信主要是“人（通过终端）-机（计算机）”通信或者“机-机”通信，它以数据传输为基础，包括数据传输和数据交换，以及在传输前后的数据处理过程。由于数据通信离不开计算机，所以人们常把数据通信和计算机通信这两个名词混用。目前，计算机在各个领域都得到了广泛的应用，因而数据通信有着广阔的应用领域和发展前景。

2.1.5 数据通信网络

在数据通信系统中，任意两台终端设备之间进行直接连接是不切实际的，原