



信息通信技术普及丛书

走近 传送网

中国通信企业协会 组编

孙新莉 魏贤虎 初铁男 王健 王元杰 编著



中国工信出版集团



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS



信息通信技术普及丛书

走近 传送网

中国通信企业协会 组编

孙新莉 魏贤虎 初铁男 王健 王元杰 编著

人民邮电出版社
北京

图书在版编目 (C I P) 数据

走近传送网 / 中国通信企业协会组编 ; 孙新莉等编
著. — 北京 : 人民邮电出版社, 2018. 10
(信息通信技术普及丛书)
ISBN 978-7-115-48907-4

I. ①走… II. ①中… ②孙… III. ①通信网—普及
读物 IV. ①TN915-49

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第161221号

内 容 提 要

本书由中国联合网络通信有限公司和中通服咨询设计研究院有限公司的专家联合编写而成,对传送网进行了详细介绍,内容涉及PDH、SDH、MSTP、ASON、DWDM、PTN、IPRAN、OTN(含华为设备)、光纤通信、传送网规划设计以及传送网技术演进等方面。

本书可供通信行业从业人员参考,也可供大中专院校师生和各企业新入职员工学习。

-
- ◆ 组 编 中国通信企业协会
编 著 孙新莉 魏贤虎 初铁男 王 健 王元杰
责任编辑 李 强
责任印制 彭志环
 - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市丰台区成寿寺路 11 号
邮编 100164 电子邮件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
三河市祥达印刷包装有限公司印刷
 - ◆ 开本: 700×1000 1/16
印张: 22.25 2018 年 10 月第 1 版
字数: 405 千字 2018 年 10 月河北第 1 次印刷
-

定价: 98.00 元

读者服务热线: (010)81055488 印装质量热线: (010)81055316

反盗版热线: (010)81055315

《信息通信技术普及丛书》编委会

主 编: 苗建华 中国通信企业协会会长
副 主 编: 刘贵清 中国电信集团有限公司副总经理
顾晓敏 中国铁塔股份有限公司副总经理
赵中新 中国通信企业协会副会长兼秘书长
张同须 中国移动通信有限公司研究院院长
张 涌 中国联通网络技术研究院院长
执行主编: 柏国林 中国通信企业协会副秘书长

编 辑 组

组 长: 赵俊涅 中国通信企业协会综合业务发展部主任
副 组 长: 冯志宏 中国通信企业协会综合业务发展部副主任
刘 婷 中国通信企业协会综合业务发展部副主任
王建军 人民邮电出版社信通传媒图书出版中心主任

本书编委会

顾 问

- 刘北阳 中国联通集团运行维护部副总经理
刘洪波 中国联通集团智能网络中心副总经理

主 编

- 孙新莉 中国联通集团运行维护部数据网处经理
魏贤虎 中通服咨询设计研究院有限公司网络院副院长
初铁男 中国联通集团运行维护部骨干网维护室经理
王 健 中通服咨询设计研究院有限公司副总经理
王元杰 中国联通山东省分公司网管中心传输主管

委 员

- 王光全 中国联通网络技术研究院网络部主任
吕洪涛 中国联通集团网络发展部传输网处经理
裴小燕 中国联通集团技术部技术战略处经理
张立彬 中国联通山东省分公司网管中心副总经理
赵升旗 中国联通山东省分公司运行维护部副总经理
杨宏博 中国联通集团运行维护部数据网处主管
张 贺 中国联通网络技术研究院网络部光传送技术研究室主任
陈 强 中国联通集团运行维护部骨干网维护室主管
史正思 中国联通集团运行维护部网管中心监控处主管
唐晓强 中国联通集团运行维护部骨干网维护室主管
黄 敏 中国联通安徽省分公司运行维护部传输组组长

序



《论语·卫灵公》中有一句话：“工欲善其事，必先利其器”，意思是说：工匠想要将他的工作做好，一定要先让工具锋利。对电信运营商来说，要想构建优质的网络，就需要领先的设备；要想打造领先的设备，就需要先进的技术。

近年来，电信业务悄然发生了变化，随着移动业务飞速发展以及互联网业务逐步普及，传统语音业务所占比例越来越小，数据业务逐步成了主流，这对带宽产生了更高需求，直接反映为对传送网能力和性能的要求提升，原有的传送技术（PDH、SDH、MSTP、ASON 等）面临新的挑战。

科技不断进步，技术领域不断推陈出新，分组传送网技术（IPRAN/PTN）和光传送网（OTN）技术成为传送网发展的主要方向。其中，分组传送网技术是近年来传送网 IP 化的新型解决方案，是传统 IP 技术和传送网技术的有效结合。凭借丰富的业务承载类型、强大的带宽承载能力以及完备的服务质量保障，分组传送网技术成为本地传送网的不二之选。光传送网（OTN）技术是目前传送宽带大颗粒业务的最优技术，受到业界一致青睐，它同时具有 SDH 网络和 WDM 网络的技术优势，既可以如 WDM 网络提供超大容量的带宽，又可以如 SDH 网络提供有效的运营维护管理和保护等功能。

《走近传送网》内容丰富，对传送网发展历程中涉及的各类技术进行了全面介绍，其中以分组传送网技术（IPRAN/PTN）、光传送网（OTN）为主，此外还涉及传送网规划设计、技术演进等诸多方面。

本书由中国联合网络通信有限公司和中通服咨询设计研究院有限公司的专家联合编写而成，内容通俗易懂，值得一读。

中国信息通信研究院技术与标准研究所副所长
张海懿

前 言



在工作中，我们经常遇到这样的情况：刚进入通信行业的大学生，或刚转到传输岗位的工程师，想学习传输技术，却不知从何学起，于是向我们咨询该看什么书好。我们往往是发给他们一些相关的电子文档，或推荐他们几本书读。

其中有人继续问，有没有简捷快速的渠道可以速成，即通过看一本书就能读懂传送网。这个问题一直萦绕在我们心头，如果我们能创作一本这样的书，这对于爱学习的读者们来说确实有帮助，这无疑是一件有意义的事。

在本书的编写过程中，多位领导和同事给予了大力支持与帮助，在此表示衷心的感谢。我们要特别感谢中国信息通信研究院技术与标准研究所张海懿副所长为本书作序。由于编者水平有限，传送网内容涉及很广，书中难免有不妥之处；如有问题，恳请读者批评指正。

编 者

2018 年 4 月

目 录



第 1 章 传输网基础	1
1.1 电信网架构	2
1.2 传输系统概念	4
1.3 传输网分层结构	6
1.4 业务网对传输网的需求	10
1.5 传输网技术现状	14
1.6 传输网维护概述	15
第 2 章 通信线缆技术	17
2.1 电缆	18
2.2 光纤	21
2.2.1 光纤简介	21
2.2.2 光纤通信的概念	23
2.2.3 光纤的传输特性	24
2.2.4 光纤种类	31
2.3 光缆	33
第 3 章 同步时分复用	37
3.1 准同步数字系列	38
3.2 同步数字体系	41
3.2.1 SDH 概念及特点	41
3.2.2 SDH 速率与帧结构	43
3.2.3 SDH 复用与映射	45
3.2.4 SDH 组网	48

3.2.5	SDH 保护与恢复	52
3.2.6	SDH 性能分析	57
3.3	多业务传送平台	61
3.4	自动交换光网络	65
第 4 章	波分复用系统	71
4.1	WDM 原理	72
4.2	WDM 系统构成	75
4.3	WDM 功能结构	78
4.4	WDM 主要性能	84
4.5	WDM 网络保护	87
4.6	WDM 分类故障处理	89
4.6.1	误码故障的分析	89
4.6.2	光功率异常故障	101
4.6.3	业务中断故障原因	103
4.6.4	波分瞬断的分析与定位	104
第 5 章	分组传送网技术	107
5.1	移动回传网结构	108
5.2	IPRAN 技术架构	110
5.3	IPRAN 网络架构	111
5.4	IPRAN 关键技术	113
5.5	PTN/IPRAN 比较	120
5.6	IPRAN 业务承载	123
5.6.1	承载业务方案	124
5.6.2	TDM 业务承载	127
5.6.3	以太网业务承载	129
5.7	IPRAN 路由技术	133
5.7.1	IS-IS 协议	135
5.7.2	OSPF 协议	145
5.8	IPRAN 保护技术	150
5.8.1	FRR 技术概念	150
5.8.2	BFD 技术原理	151
5.8.3	设备本地保护	155

5.8.4	传输通道保护	161
5.8.5	业务保护	164
5.8.6	网间保护	165
5.8.7	保护实现应用	170
第 6 章	光传送网	175
6.1	OTN 的概念及应用	176
6.1.1	OTN 的概念	176
6.1.2	OTN 技术优势	178
6.1.3	OTN 标准进展	180
6.1.4	OTN 的应用场景分析	192
6.2	OTN 体系架构	198
6.2.1	OTN 分层及接口	201
6.2.2	OTN 的分割	214
6.2.3	OTN 帧结构与开销	215
6.2.4	OTN 复用与映射结构	221
6.2.5	OTN 模块	223
6.2.6	OTN 设备形态	229
6.3	OTN 保护与应用	232
6.3.1	光线路保护	232
6.3.2	线性保护	234
6.3.3	环网保护	237
6.4	OTN 管理	240
6.4.1	OTN 管理需求	240
6.4.2	OTN 管理体系结构	241
6.4.3	控制平面技术	243
6.5	可重构式光分插复用器	244
6.5.1	ROADM 应用驱动力	245
6.5.2	ROADM 技术实现	247
6.5.3	ROADM 组网应用	254
6.6	100Gbit/s OTN 技术	256
6.6.1	100Gbit/s 标准化现状	257
6.6.2	100Gbit/s 产业链发展状况	258
6.6.3	100Gbit/s OTN 关键技术	258

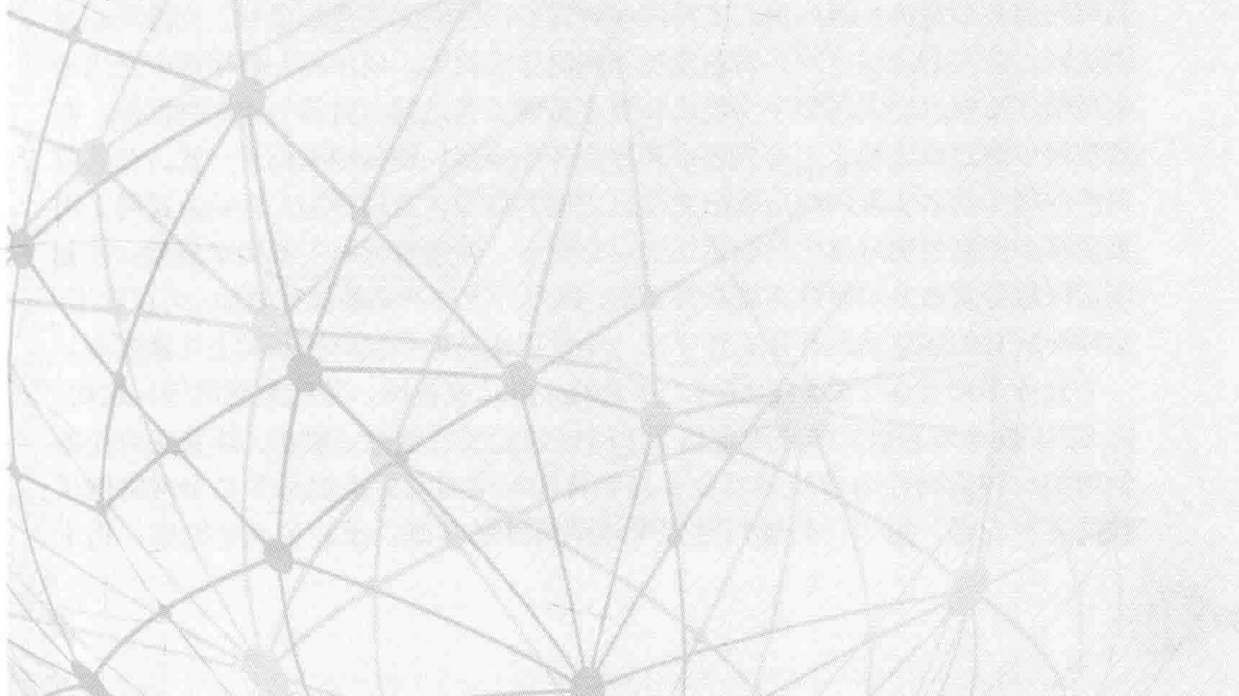
6.6.4	100Gbit/s OTN 组网应用	262
6.7	OTN 系统参考点	264
6.8	典型设备组网	267
6.8.1	典型 OTN 组网	268
6.8.2	OTN+ROADM 特性	269
6.8.3	备份和保护	270
6.8.4	ASON 特性	273
6.8.5	网络管理	274
第 7 章	传送网规划与设计	277
7.1	规划基本要素	278
7.1.1	光信噪比	279
7.1.2	开局光功率调测	282
7.1.3	色散补偿	284
7.2	光纤光缆测试	285
7.2.1	光纤测试需求	285
7.2.2	光纤测试内容	286
7.2.3	光纤测试方法	286
7.3	OTN 设计	289
7.3.1	系统制式	289
7.3.2	传送平面网络规划	292
7.3.3	传输系统设计	293
7.3.4	网络保护	295
7.3.5	辅助系统设计	296
7.3.6	控制平面设计	297
7.3.7	光传输距离计算	298
7.4	$n \times 100\text{Gbit/s}$ OTN 干线传输规划与设计	301
7.4.1	OTN 干线传送网的规划	301
7.4.2	100Gbit/s OTN 干线传输工程设计	303
第 8 章	传送网技术演进	305
8.1	传送网发展需求	306
8.2	传送网发展趋势	310
8.3	超 100Gbit/s 技术	314

8.3.1	超 100Gbit/s 标准化进展	315
8.3.2	超 100Gbit/s 关键技术	318
8.3.3	超 100Gbit/s 产业化进程	323
8.4	分组增强型 OTN-PeOTN	325
8.4.1	POTN 概念	325
8.4.2	POTN 设备功能模型	328
8.4.3	POTN 关键技术	331
8.4.4	POTN 应用场景分析	332
8.5	WSN 技术	334
8.6	IPRAN 技术发展	335
8.6.1	SDN 在 IPRAN 中的应用	335
8.6.2	SDN 引入思路	339
	参考文献	341

第 1 章

传输网基础

传输网在整个通信网络中是一个基础网络，是各类业务网络的承载网，发挥的作用是传送各个业务网络的信号，使每个业务网络的不同节点、不同业务网之间互相连接在一起，形成一个四通八达的网络，为用户提供各种业务。



1.1 电信网架构

电信网 (Telecommunication Network) 是构成多个用户相互通信的多个电信系统互联的通信体系, 是人类实现远距离通信的重要基础设施, 利用电缆、无线、光纤或者其他电磁系统, 传送、发射和接收标识、文字、图像、声音或其他信号。

电信网是十分复杂的网络, 人们可以从各种不同的角度和以不同的方法来描述, 从功能上, 电信网大体上可分为传输网、业务网、支撑网, 它们之间的关系如图 1-1 所示。

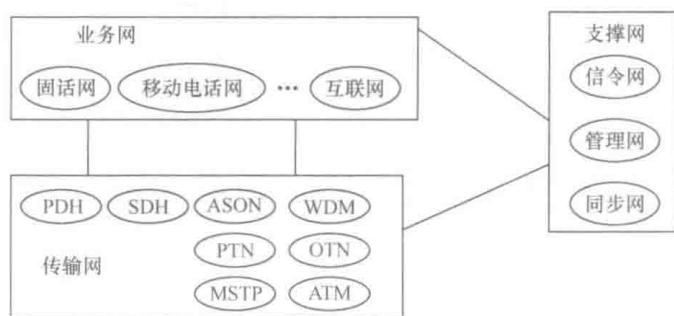


图 1-1 传输网、业务网、支撑网之间的关系

支撑网是现代电信网运行的支撑系统。建设支撑网的目的是利用先进的科学技术手段全面提高全网的运行效率。一个完整的电信网除了包括以传递电信业务为主的业务网之外, 还需有若干个用来保障业务网正常运行、增强网络功能、提高网络服务质量的支撑网络。支撑网中传递相应的监测和控制信号。支撑网包括同步网、公共信道信令网、传输监控和网络管理网等。同步网在数字网中是用来实现数字交换机之间或数字交换机和数字传输设备之间时钟信号速率的同步, 在模拟网中通过自动或人工方式校准和控制各主振器, 使其频率趋于一致。公共信道信令网专用来实现网络中各级交换机之间的信令信息的传递。传输监控网是用来监视和控制传输网络中传输系统的运行状态。网络管理网主要用来观察、控制电话网服务质量并对网络实施指挥调度, 以充分发挥网络的运行效能。可以看出, 支撑网所有的这些功能都需要建立在一个性能优越的传输网的基础上才能实现。

业务网则包含了移动通信网、互联网、电话交换网、基础数据网等。起初, 以 SDH 技术为基础的传输网定位于 PSTN 的配套传输网。现在, 随着各类业务的增加, 传输网在为传统语音业务提供传输通道的同时也服务于整个网络所承载的各种业务。所以, 传输网是整个电信网络的基础, 承载各业务网络, 用于

传送每个业务网的信号，使它们的不同节点和不同业务网之间能够互相联通，最终构成一个联通各处的网络，为语音业务、宽带数据业务以及下一代业务网和未来的 IP 多媒体等业务提供通道和多种传送方式，满足用户对各种业务的需求。可以说，没有传输网就无法构成电信网，传输网的稳定程度、质量优劣，直接影响到电信网的总体实力。

另外，人们往往将传输和传送相混淆，两者的基本区别是描述的对象不同，传送是从信息传递的功能过程来描述，而传输是从信息信号通过具体物理媒质传输的物理过程来描述。网络这个术语几乎可以泛指提供通信服务的所有实体（设备、装备和设施）及逻辑配置。传送网是在不同地点之间传递用户信息的网络的功能资源，即逻辑功能的集合。传送网是完成传送功能的手段，其描述对象是信息传递的功能过程，主要指逻辑功能意义上的网络。当然，传送网也能传递各种网络控制信息。

传输网是在不同地点之间传递用户信息的网络的物理资源，即基础物理实体的集合。传输网的描述对象是信号在具体物理媒质中传输的物理过程，并且传输网主要是指由具体设备所形成的实体网络，如光缆传输网、微波传输网。

因而，传送网主要指逻辑功能意义上的网络，即网络的逻辑功能的集合，而传输网具体是指实际设备组成网络。当然在不会发生误解的情况下，则传输网（或传送网）也可以泛指全部实体网和逻辑网。

电信网的分法可以有多种方法，也可以分为传送网、业务网、支撑网和物理承载网，如图 1-2 所示。物理承载网指为传送网提供物理承载的网络，包含管道网、杆路网、光缆网和电缆网等。

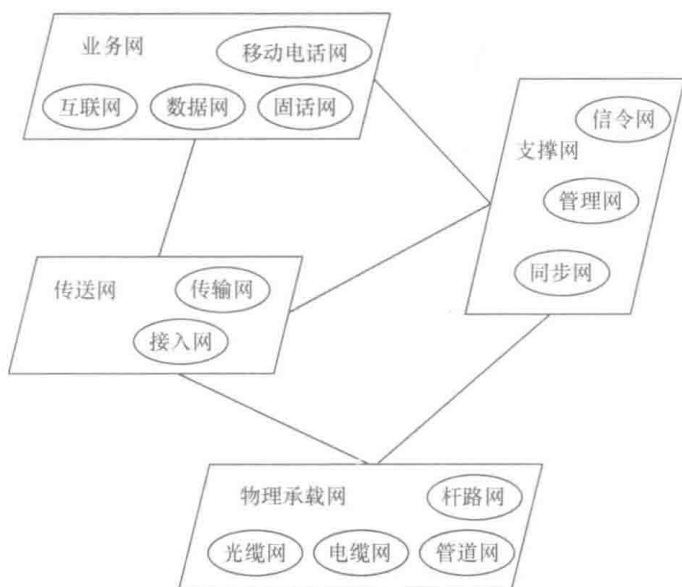


图 1-2 电信网分类

1.2 传输系统概念

传输系统是包括了调制、传输、解调全过程的通信设备的总和。它是先把语音、数据、图像信息转变成电信号，再经过调制，将频谱搬移到适合于某些媒质传输的频段，并形成有利于传输的电磁波传送到对方，最后经过解调还原为电信号。作为信道时，传输系统可连接两个终端设备从而构成通信系统，也可以作为链路连接网络节点的交换系统构成通信网。

在传输信号的过程中，传输系统会遇到一些导致信号质量劣化的因素，如衰减、噪声、失真、串音、干扰、衰落等，这些都是不可避免的。为了提高传输质量、扩大容量，从而取得技术和经济方面的优化效果，传输技术必须坚持不懈地发展和提高。传输媒质的开发和调制技术的进步情况标志着传输系统的发展水平，可以从传输质量、系统容量、经济性、适应性、可靠性、可维护性等多个方面对传输系统进行综合评价。有效扩大传输系统容量的重要手段包括提高工作频率来扩展绝对带宽，压缩已调制信号占用带宽来提高频谱利用率等。

传输系统按其传输信号性质可分为模拟传输系统和数字传输系统两大类，按传输媒质可分为有线传输系统和无线传输系统两大类（见图 1-3）。

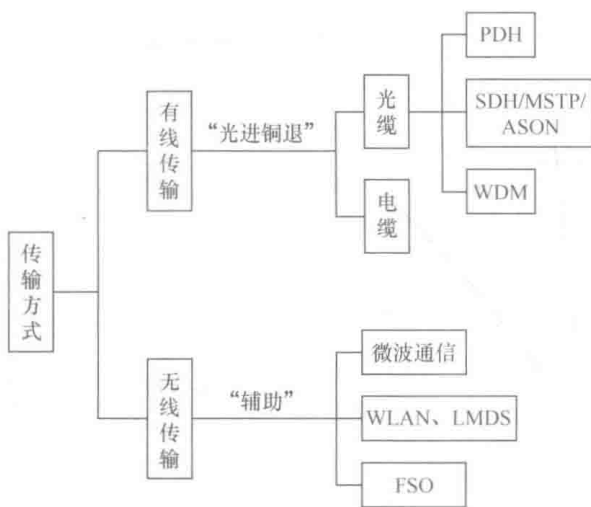


图 1-3 传输方式分类

1. 模拟传输系统

模拟传输系统的信号随时间连续变化，必须采用线性调制技术和线性传输系统。在金属缆线的应用中，模拟传输系统由于频带受限，故适合采用单边带调制，它的已调信号的带宽可与原信号相同，有着更高频谱利用率。为了克服无线传输系

统的干扰和衰落,模拟基带信号的二次调制大多采用调频方式。考虑到扩大容量,某些特大容量的模拟微波接力系统中会采用调幅方式。模拟传输系统的缺点是接力系统的噪声及信号损伤均有积累,它只适用于早期业务量很大的模拟电话网。

2. 数字传输系统

数字传输系统的抗干扰及抗损伤能力变强,因为其信号参量在等时间间隔内取 2^n 或 2^n+1 个离散值,接收信号时只需取参量与各标称离散值的差值即可判决,接收信号无须保持原状,因此,信号经过每个中继器都可以逐段再生,无噪声及损伤的积累。同时,数字传输系统可用逻辑电路来处理信号,设备简单,易于集成。它不仅适用于数据等数字信号传输,也适用于传输数字语音信号以及其他数字化模拟信号,从而为建立包容各种信号的综合业务数字网提供便利。尽管数字化模拟信号的频谱利用率远低于原信号,但如果采用高效调制技术、高效编码技术和高工作频段的传输媒质等方法,依然可以相应地提高频谱利用率。这些优点使数字传输系统受到更多关注,其发展也变得迅速起来。

3. 有线传输系统

有线传输系统是以线状金属导体(如同轴电缆、双绞线电缆等)及其周围或包围的空间为传输媒质,或者以线状光导材料(光纤)为传输媒质的传输系统。有线传输系统的传输质量相对稳定,其中,受外界电磁场辐射交联或集肤效应制约的金属缆线的可用频带严重受限,大体上只适用于模拟载波系统。借助缩小中继距离,我们可以在一定程度上提高金属缆线的系统容量。光纤是利用光线射到两种不同介质交界面时会产生折射和反射的原理,使携带信号的光线可在光纤的纤芯中长距离传播。光纤的优点是传输衰减小、距离长、频带宽、容量大、体积小、重量轻,同时抗电磁干扰,传输质量较好。当然,光纤也存在一些不足之处,如容易断裂,需要专业工具接续等。光纤由于具有良好的传播特性,现已成为有线传输系统的主要传输媒质。

4. 无线传输系统

无线传输系统是以自由空间为媒质的传输系统,其信道大体上可分为卫星信道和地面无线信道两大类。卫星信道基本可以看作是恒参信道,只是由于电波超长距离地在空中传播,会造成明显的时延。同时,大气环境会影响卫星信道,致使其传播损耗不稳定。卫星信道的主要优点是代价低、使用方便、传输容量巨大,据测算,装有10个转发器的一到两颗卫星就可使世界上最大的国家能成功地进行通信。同时,卫星信道覆盖面宽,具有广播信道特性,可构成优良的无线传送信道,尤其是远程无线传送信道,现已成为远程无线传输的重要手段。在地面无线通信系统中,收端与发端之间是一种由直射波、绕射波、反射波、散射波、地表波等多个电波传播方式协同的信号传输模式。收发天线间