

第1章 概 论

经济发展、社会进步使人类进入了信息化时代。通信业务的迅猛增长。极大地促进了光纤通信技术的发展。信息产业已成为国民经济的基础产业和先导产业。信息产业基础的通信网建设，尤其是光纤通信网的建设规模与水平，已成为衡量国家综合实力的重要方面。

经过几十年努力，我国在光纤通信产业的发展上取得了巨大进步，光纤通信技术成为我国与发达国家差距最小的领域。社会的需求与技术的进步又为光纤通信产业带来广阔的市场前景。大容量、高传输速率光传输系统正在不断建设。未来，我国的高速宽带骨干网络、特别是城域网、光纤用户接入网以及有线电视分配网的建设规模将进一步发展，光纤网络将覆盖全国城乡，并最终进入办公室与家庭，届时，在我们的周围，光纤网络将无处不在。

本章首先介绍光纤通信发展简史、光通信产业的发展概况，使读者对光纤通信的发展脉络与趋势有基本了解；而后讨论光纤通信的特点、类型及应用。

1.1 光纤通信发展简史

在任何一个通信系统中，传输的信息量与已调载频的带宽（频率范围）有关。一般地说，带宽是被限制于载波频率本身的一个固定部分。因此，在理论上载波频率的提高就增加了有效传输带宽和系统的容量。这样，通信的发展就是要进一步地使用更高频率的波段，以便得到更大的带宽来提高信息容量。

图 1-1 列出了通信所用电磁波谱。在此波谱中所用的传输媒质有毫米及微波波导、金属导线及传送无线电波的大气。使用这些媒质作为传播体的大量通信系统，是人们熟悉的电话、电报、调幅和调频的无线电广播、电视、雷达及卫星通信系统。可以看出，通信技术的进展，从音频的数百赫兹逐渐扩展到毫米波带中的 90GHz。对于更高的频率，用波长表示则更为方便。波长 $1\mu\text{m}$ 相当于频率 70THz 即 3×10^{14} Hz。

光是人们很熟悉的一种电磁波，通常将红外线、可见光、紫外线都归入光波范围内（除可见光约 $0.39\mu\text{m} \sim 0.77\mu\text{m}$ 波段外），所有电磁波都是人眼看不见的。由于通信容量与电磁波频率成正比例增大，所以人们一直探索如何将更高频率的电磁波用于通信技术。

利用光作为信息传送手段，可以追溯到古代的烽火台，也可联系到自 17 世纪以来沿用的灯光传送信号及手旗通信。但从近代通信的角度来看，这些都不能算是真正的光通信。甚至 A·G·贝尔在 1880 年做的光电话实验，也与现今的光通信有很大的区别。“光电话”由于没有合适的光源及传输媒质，不能得到发展和实用。

直到 1960 年发明了新光源——激光器后，才极大地促进了光波通信的研究。激光器可以发出频率稳定、相位稳定、并具有高亮度的光，它可用作载波源，从而揭开了光通信的序幕。激光器的开发最初（1960 年）是使用固体的红宝石，然后（1961 年）是氦-氖气体激光器，1970 年美国贝尔实验室研制成功室温下连续振荡的半导体激光器，与气体激光器比较，它体积小、耗电少、又能直接用电流高速调制，使用方便，这就使激光技术进一步向前发展。目前在通信方面是以采用镓铝砷（GaAlAs）和铟镓砷磷（InGaAsP）材料的半导体激光器为主流，先进的分布反馈式（DFB）半导体激光器及量子阱（QW）激光器也已经得到实用。

光导纤维的出现，极大地推动了光通信的发展。从历史上看，集中研究过三种光的传输媒质。它们是：①大气传播；②光学透镜波导管传输；③玻璃纤维传输。光的大气传输易受气候影响，极不可靠，光波导传输又难以实用化，而玻璃纤维的衰耗在 20 世纪 60 年代中期达 1000 dB/km，当时用它作光通信的传输媒质几乎是不可想象的。

1966 年，英籍华人高锟博士等人经严格论证，提出从石英玻璃材料中去除杂质可以制成衰耗为 20 dB/km 左右的通信光导纤维，1970 年美国康宁玻璃公司首先制出衰耗为 20 dB/km 的光纤，使光导纤维的发展得到突破。经过对光纤制造方法的研究和对光纤低损耗区的不断扩展，先后开发使用了 850 nm、1310 nm 和 1550 nm 三个波长段，其中以 850 nm 段的损耗为最大，1310 nm 段居中，1550 nm 段衰耗最低，可低到 0.2 dB/km 以下。

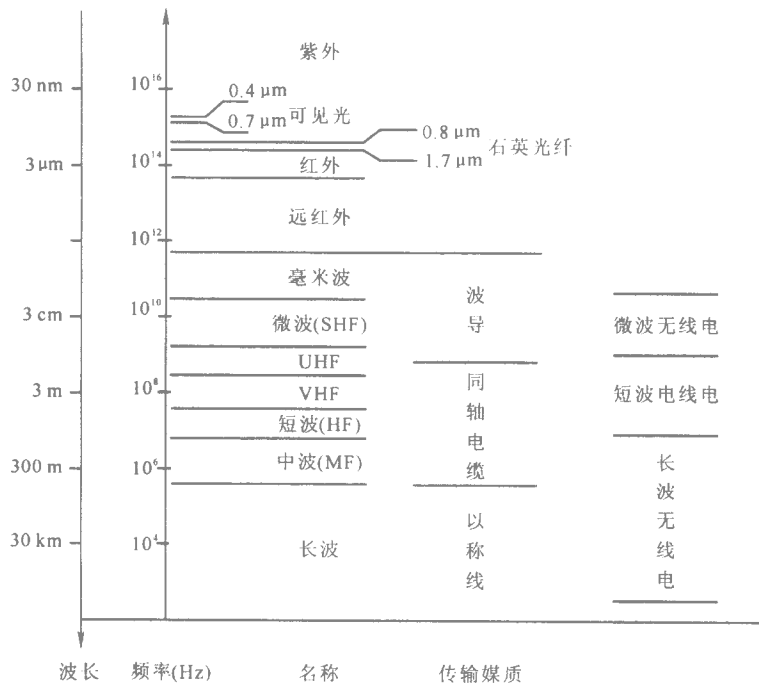


图 1-1 通信用电磁波谱

表 1-1 表示出了光通信的探索至发展为光纤通信的情况，预示了未来空间光通信的发展。

表 1-1 光通信的探索与发展

类 型	年 代	趋 势
大气光通信	1960 迄今	个别使用
光波导通信	1964 年	放弃
光纤通信	1970 年迄今、将来	日益发展
宇宙星际光通信	将来	很可能实用

光纤通信技术的发展，大致可以分为三个阶段：

第一阶段（1970~1979 年）：光导纤维与半导体激光器的研制成功，使光纤通信进入实用化。1977 年美国亚特兰大的光纤市话局间中继系统为世界上第一个光纤通信系统。

第二阶段（1979~1989 年）光纤技术取得进一步突破，光纤衰耗降至 0.5 dB/km 以下。由多模光纤转向单模光纤，由短波长向长波长转移。数字系统的速率不断提高，光纤连接技术与器件寿命问题都得到解决，光传输系统与光缆线路建设逐渐进入高潮。

第三阶段（1989 年至今）光纤数字系统由 PDH 向 SDH 过渡，传输速率进一步提高。1989 年掺饵光纤放大器（EDFA）的问世给光纤通信技术带来巨大变革。EDFA 的应用不仅解决了长途光纤传输衰耗的放大问题，而且为光源的外调制、波分复用器件、色散补偿元件等提供能量补偿，这些网络元件的应用，又使得光传输系统的调制速率迅速提高，并促成了光波分复用技术的实用化。

光纤传输性能的改进，光放大技术、传输色散补偿技术的应用，使光纤通信的优越性进一步显现，系统传输速率与总容量大幅度提高。可以展望，随着各种新技术、新器件、新工艺的深入研究，光纤传输将进入光放大、光集成、光分插复用、光交叉连接和光交换的全光网时代。

1.2 光纤通信的特点

由于光纤通信是利用光导纤维作为传输媒质的通信方式，这就使它与别的通信方式相比有许多独特的优点。可归纳为

1. 巨大的传输容量

这是光纤通信优于其他通信的最显著特点。现在光纤通信使用的频率为 $10^{14} \sim 10^{15}$ Hz 数量级（见图 1-1）。比常用的微波频率高 $10^4 \sim 10^5$ 倍，因而信息容量理论上比微波高出 $10^4 \sim 10^5$ 倍。在信息需求量迅速增长的当今，这是很重要的。梯度多模光纤每公里带宽可达数吉赫兹公里，单模光纤带宽可达数百太赫兹量级。

2. 极低的传输衰耗

目前单模光纤在 $1310 \mu\text{m}$ 窗口的衰耗约 0.35 dB/km，在 $1550 \mu\text{m}$ 窗口的衰耗低至 0.2 dB/km，与其相比，同轴电缆对 60 MHz 信号的衰耗为 19 dB/km，市话电缆对 4 MHz 信号的衰耗为 20

dB/km，因此光纤传输比电缆传输中继距离长得多。

3. 抗电磁干扰

光纤是由介电材料制成，它不怕电磁干扰，也不受外界光的影响。在核幅射的环境中，光纤通信也能正常进行，这是电通信不能相比的。因此光纤通信可广泛用于电力输配、电气化铁路、雷击多发地区、核试验等特殊环境中。

4. 信道串扰小、保密性好

光纤的结构保证了光在传输中很少向外汇漏，因而光纤中传输的信号之间不会产生串扰。更不易被窃听，保密性优于传统的电通信方式。

5. 光缆尺寸小、重量轻、可挠性好

光纤的外径仅 $125\mu\text{m}$ 其套塑后的尺寸也小于 1mm 用它制成的 $24\sim 48$ 芯光缆外径约为 18mm 光缆比同样传输能力的电缆要轻得多，约为电缆重量的 $1/3\sim 1/10$ 。经过表面涂敷的光纤可挠性好，弯曲成直径数毫米的小圈也不至于折断。因此光缆比较容易敷设。这些特点使它不但适用于公用通信 在军事通信中也极为适用 如用于导弹、舰船、飞机、潜艇通信控制系统等。

光纤材料资源丰富，价格低廉。与传统通信方式相比，可节省大量铜、铝等金属材料，有利于降低通信系统的成本。

此外，光纤不会锈蚀、不怕高温、光纤接头不会产生电火花放电，可用于易燃易爆及有锈蚀危险的环境中。这些优点恰是金属导线不足之处，所以光纤通信还适宜于化工厂、矿井及水下通信控制系统。

在光纤通信刚进入实用化时，由于光纤接续比较困难，光器件寿命较短、光通信的设备及光缆价格较贵等等原因，人们担心光通信的推广应用会受到限制。随着技术的发展进步，这些问题逐渐得到了解决。目前的光器件寿命已达数十万小时甚至百万小时以上，完全可以满足实际应用的要求。光缆的价格也在逐步下降，设备的价格下降更快。光纤通信的优越性也渐露锋芒。因此从 20 世纪 80 年代中期开始，许多国家已经停止同轴电缆的生产，大力发展光纤通信系统。

表 1-2 列出了光缆和其他几种传输媒介特性的比较。

表 1-2 光缆和其他几种传输媒介特性比较

特 性 \ 媒 介	对称电缆或 四芯对电缆	同轴电缆	微波波导	光纤(缆)
传输体直径 (mm)	1~4	10	50	0.1~0.2
缆的重量比 (同等传输容量)	1	1	1	0.1
每段缆的长度 (m)	100~500	100~500	3~10	>2000
传输损耗 (dB/km)	20 (4MHz 时)	19 (60MHz 时)	2	0.2~3

续表

特 性 \ 媒 介	对称电缆或四芯对电缆	同轴电缆	微波波导	光纤(缆)
带宽 (MHz)	6	400	40 ~ 120(GHz) (指微波频带)	> 10GHz·km (指所传送信号)
敷设安装	方便	方便	特殊	方便
接头和连接	方便	较方便	特殊	特殊
中继间距 (km)	1~2	1.5	10	> 50

注：此表仅为一般性比较，中继间距还与系统速率、波长、器件等诸多因素有关。

1.3 光纤通信应用类型

任何一个通信系统的基本组成都可用图 1-2 表示。

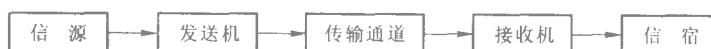


图 1-2 通信系统的基本构成

这些组成单元包括：在某一端的信息源，把信息送入发送机；发送机把信息以信号的形式连接到传输通道，“信号”是和传送通道相匹配的；传输通道则是连接两地间的发送机和接收机的桥梁，它又是传送信号的媒质，可能是铜线对、电缆线、波导管或非波导的大气空间通道以及光导纤维。信号在通道中传输时，随着通信距离的增大，信号受到衰耗和畸变也进一步加大。例如，电信号流过导线时由于高频辐射和导线的电阻损耗而减小，大气中传送的光功率经过大气分子的散射和吸收而减弱。接收机的功能则是从通道中提取已减弱和畸变了信号，将其放大并还原成传输以前的信息的形式，把它送到信宿。经过上述过程，信息便从信号源到达了信宿，完成了通信。

光纤通信系统则是以光波为载波，以光纤为传输介质的通信系统（见图 1-3）它主要由光发送、光传输和光接收三大部分组成，加上适当的接口设备，就可以作为一个单独的通信单元插入现有的数字或模拟、有线或无线通信系统中。

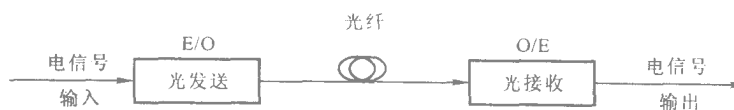


图 1-3 光纤传输方式

光纤通信系统可根据其所使用的传输信号形式、传输光的波长、光纤类型、信号调制方式以及应用范围等进行不同方式的分类。

1. 按传输信号的类型划分

(1) 光纤模拟通信系统

它传送的是模拟信号，常用于广播节目、彩色电视节目、工业监视信号、交通监控信号等的传输。

(2) 光纤数字通信系统

它用来传输电的 PCM 数字信号。它的设备较为复杂，但传输质量高，通信距离长，是广泛采用的系统。

2. 按光调制的方式划分

(1) 强度调制直接检测系统

它用电信号对光源进行强度调制，在接收端用光检测器直接检测，称为 IM-DD 系统。目前应用的光纤模拟通信系统和光纤数字通信系统均属此类型。其优点是简单、经济，但通信容量受到限制。

(2) 外差光纤通信系统

在发送端用电信号对光源发出的单频光载波进行调制。用单模光纤传输到接收端，收到信号与接收机内部产生的本振光源混频，再用光检测器检出为光载波和本振光之差频的中频电信号，然后再解调出电信号。它类似于无线通信的外差接收技术。

3. 按光纤的传输特性划分

(1) 多模光纤通信系统

这种系统用石英多模梯度光纤作为传输媒质。传输带宽受到限制，一般应用于 140 Mbit/s 以下的系统。20 世纪在 80 年代中期以前的系统大多为多模光纤通信系统。目前，多模光纤系统主要应用于数据网络以及某些专用网络。

(2) 单模光纤通信系统

它采用石英单模光纤作为传输媒质。传输容量大，无中继传输距离长。目前建设的长途干线网以及本地网光纤通信系统基本上都是这一类型的系统。

4. 按光波长划分

(1) 短波长光纤通信系统

光纤通信早期多采用多模光纤系统，工作在 800 ~ 900 nm 波长范围，其中继间距较短。目前主要用于计算机局域网、用户接入网等传输速率较低、传输距离较短的系统。

(2) 长波长光纤通信系统

工作波长为 1000 ~ 1600 nm 范围。通常用 1310 nm 和 1550 nm 两种波长。采用 1310 nm 波长时，可以用石英多模光纤，也可选用石英单模光纤，目前多数选用单模光纤。在 1550 nm 波长上只用单模光纤，由于此波段上石英光纤有最低的损耗，这类系统的中继距离较长。

(3) 超长波长光纤通信系统

当采用非石英系光纤，如卤化物光纤，工作波长大于 2000 nm 时，损耗值可低至 10^{-2} ~

10^{-5} dB/km 可望实现 1000km 无中继传输。这种光纤尚在研制阶段。

5. 按应用的范围划分

(1) 公用光纤通信系统

通常把电信、广电部门应用的光纤通信系统称为公用光纤通信系统。其中又可分为光纤市话中继通信系统、光纤长途传输系统、光纤用户环路系统以及有线电视系统等等。

(2) 专用光纤通信系统

通常把各部门、各行业 例如电力、铁道、石油、公路交通、大型厂矿企业、军事等部门应用的光纤通信系统称为专用光纤通信系统。

但是目前电信运营的格局已有所变化，国家政策已允许某些具备条件的专用网络进入公用电信服务。

6. 按传输信道数目划分

(1) 单信道 波长 系统

在一根光纤中只传送一个光波长，而采用时分复用的方式（TDM）提高系统传输容量。

(2) 粗波分复用系统（CWDM）

在一根光纤中同时传送少量不同光波长（信道间隔大于 20nm）。粗波分复用系统在业务类型繁杂、传输容量多变的城域网中广泛采用。

(3) 密集波分复用系统（DWDM）

在一根光纤中同时传送多个不同波长的光信号（信道间隔小于 8nm）同时采用时分复用提高每一波长的传输速率，使系统容量得到数百倍提高。

DWDM 技术将是光传输系统扩容的发展方向。高速 DWDM 系统对光纤器件的性能有特殊要求，又推动了光纤、器件及光放大技术的快速发展。

1.4 光纤通信技术涉及的产品

光纤通信技术涉及的产品主要有四大类：

1. 光传输设备

在光传输系统中完成光电信号的转换与调制，光信号的发送与接收，多波长系统的分波与合波及其他辅助功能 如光端机、光中继机、波分复用终端等。

在我国的光纤传输系统中，除早年投入运营的本地网 PDH 设备外 在骨干网中 高速率系统如 2.5Gbit/s SDH 设备、 16×2.5 Gbit/s 波分复用设备也已在网络中运用多年，10 Gbit/s SDH 设备、 32×10 Gbit/s 波分复用设备已进入实用。目前，国家十五计划的重大科研项目“40 Gbit/s 速率传输技术”的研究已开始实施。

2. 光纤光缆及配件

光纤光缆及配件组成光传输线路。光纤在工程上都采用多纤集合，并加上各种保护元件构成光缆使用。光缆线路的附件主要有接头盒、终端盒、光配线架、热缩护套等。

光纤光缆及配件的制造形成了一条很长的产业链，包括金属、非金属与化工原材料、光纤预制棒、拉丝、成缆等。

除常规单模光纤仍广泛应用在光缆线路外，随着光传输技术的发展以及大容量、高速率系统的要求许多新型光纤相继问世如支持 DWDM 传输的非零色散位移光纤 (NZ-DSF)、用于宽带城域网多波长复用的低水峰全波光纤、用于高速率传输色散调节的色散补偿光纤 (DCF) 以及用于光纤放大器的掺铒光纤 (EDF) 等。

3. 光器件

光器件习惯上分为光有源器件与光无源器件两大类。

(1) 光有源器件

光有源器件一般需电源工作，并具有光电转换功能。如各类光源（激光器、发光管等）和探测器（光电管、雪崩管等）光信号放大器等。

为适应高速率光传输的要求，各种类型与结构的光有源器件应运而生，如先进的分布反馈式激光器、多量子阱激光器、用于宽带多模光纤系统的垂直腔面发射激光器等。

为了提高器件集成度，光源与探测器可集成为光收发模块。

(2) 光无源器件

光无源器件种类繁多，其作用有：光路活动连接、光信号分路、光的衰减与隔离、光信号的分波与合波等。

除常用无源器件外，具有各种新功能的无源器件不断出现，如光路由选择器、光纤光栅、阵列波导光栅等。

4. 测试仪器与专用工具

(1) 用于设备测试的有：误码分析仪、光谱分析仪、光功率计、光多用表等。

(2) 用于线路工程施工的有：光时域反射仪 (OTDR)、光纤熔接机、剥缆刀具、米勒钳、光纤切割器等。

为适应大规模线路施工，提高工程建设效率与线路检测质量，具有更多功能、操作更为简便、施工质量更高的新型施工工具与测试仪器亦不断涌现。

2.2 传输辅助系统

1. 监控告警系统

首先，通信设备的每块机盘上都有机盘工作状态的监测电路，监测结果一方面用本机盘上的指示灯显示，同时又向外提供监测部位和接受本身和外来控制信号的控制。安装在同一机架上的所有机盘的监测结果又予以汇总，并通过安装在机架上的信号灯和铃响显示出本机架的工作状态。各个机架的汇总监测结果再一次汇总后外送至通信网的网络管理中心。机务值守人员通过机盘、机架和列架上的显示来了解本局设备的运转状况。

光纤通信的网络管理采取集中监控方式。所谓“集中监控”，就是只由少数值守人员驻守在某一端局，实现网络监控系统对被控站和辅控局进行集中管理。有监控人员值守的端局称为主控局，另一端局为辅控局，主控局和辅控局之间的中继站称为被控站。由主控局通过监控线路发出各种询问指令，各被控站的监控设备不断地把本站光通信设备和供电设备的运行性能编成适合于传输的信号形式，通过监控线路送往主控局，主控局的监控设备对这些部位进行判断处理后通过电子屏幕和打印装置显示给值守人员，并自动地或人工地发出所需的监控指令。由监控线路送往被控站（包括主控和副控局）的监控设备，监控设备译出指令，由执行机械完成所需的控制。系统监控内容如表 2-1 所示。

表 2-1 监控信号的基本内容

内 容	情 况	性 质	信 号 形 式
误码率	> 10^{-3} 告警 > 10^{-6} 告警	监控通信	开关量
中继器	故障告警		
电源	故障告警 故障告警		
环境 温度	> 40℃告警 > 90%告警		
接收光功率 激光器寿命	测 AGC 电压 测 LD 偏置电流	遥测	模拟量(编码)
倒换信号		遥控	开关量(编码)
自环信号			
公务电话呼叫选址			
起动油机发电			

一条长途干线有若干个这样的监控区段，大的终端局还可能有几条干线通向几个方向，纵横交叉成网，相应地也就形成了一个复杂的监控网。监控网络分为三级：一条干线的监控为一级监控；几条干线集中的全局监控为二级监控；大区的全网集中监控为第三级监控。低级的监

控计算机把采集的监控信息向高一级的监控中心汇总。

监控信息的传输线路有三种。一种是在光缆内附加铜线对，作为监控公务系统的专用通道，由于铜线只能传送低速率数据信号，且每隔 1~2km 就需加感，光缆中附加金属线后，光缆的防雷击特性也受到破坏，目前这种方式已经很少被采用。第二种方法称为调顶法，即用监控信号调制光脉冲幅度，通信数字信号调制光脉冲的强度。这种方式目前也用得不多，原因是它要以牺牲一部分光功率为代价，调顶的深度只能在 1%~5% 内，信噪比不高，监控信道的容量小，同时又可能造成码流的抖动。目前最实用的方式为冗余插入比特法，即利用码型变换时插入冗余比特传送辅助信号，这样既不需要专用线路，也不干扰主信号。

2. 公务联络系统

公务系统是供值守人员在局、站间为日常维护、管理进行联络使用的。公务联系的通信方式有选址呼叫，同线呼叫和分组呼叫三种。选址呼叫方式适用于数字段或维护段内或段间的公务联络。沿途各局站编为不同的号码，维护人员可以有选择地呼叫某个局站。同线呼叫又称为广播呼叫，适用于段内所有局站以群呼方式进行公务联络。分组呼叫方式是对部分局站进行同时呼叫的联络方式。公务电话也采取数字化，利用主信道中的冗余比特，在光缆中传输。公务联络通信设备的呼叫信号采用双音多频信号，最大呼叫容量可达 1000 个地址，可满足数千公里长干线的联络需要。用于维护段内的业务电话应视为机务与线务人员共用，通话功能应从机房引至线务值班地点。

光纤通信系统一般设两条公务信道，一条用于全程段间联络，一条用于段内联络，图 2-2 为公务通信网络示意图。图的上部为光纤通信组织，端局的段内联络话机在终端设备上，段间公务话机由终端设备提供的 OW 接口接入。中继站没有终端设备，但设有段内公务联络话机插口，供插入便携式话机使用。各种光端机的公务电话都是一样的，公务电话的核心是编译码器，采用专用大规模集成电路，辅以发定时电路和帧定位码产生电路，便可以产生语音 PCM 数

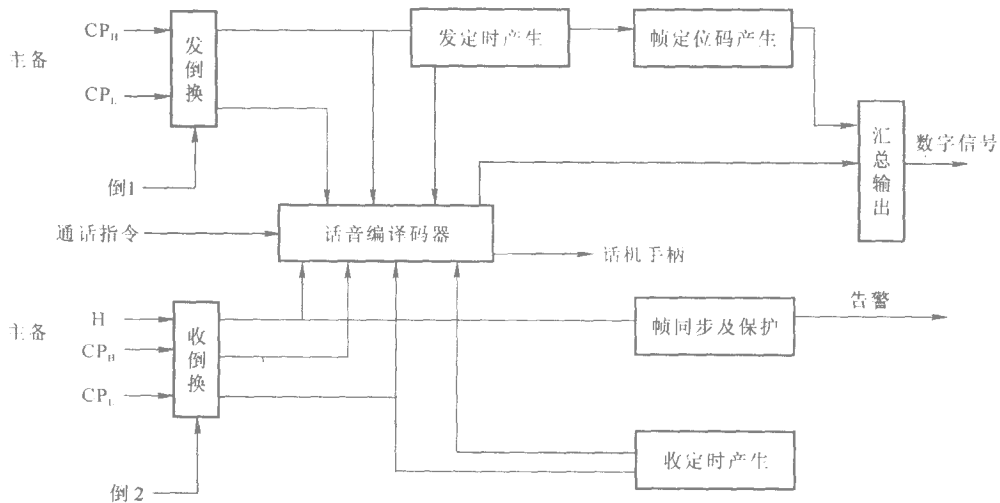


图 2-2 公务系统终端电路原理图

字信号输出 该信号速率为 64 kbit/s。而插入型线路码可提供的公务信道容量为 260 kbit/s 以上。对方来的公务信号由收定时产生电路产生相应对序,经帧同步及保护电路实现帧定位后,再经编译码器译码,使可得到还原的语音信号。图 2-2 中收发倒换电路倒换的是 TTL 电平信号,它受辅助信道的倒换信号,而不是主信道的倒换信号控制。

3. 主备倒换系统

为了确保光纤通信长途干线的可靠性,光纤通信系统的线路终端设备应具有利用系统本身光纤提供辅助信道的自动倒换设备。在主系统出现线路故障或者系统误码率超过指标时,用备用系统代替主系统。运行统计资料表明,通信中断故障的 90%~95% 出自光缆线路和光电器件,5%~10% 出自系统的终端设备。因此只对线路传输系统(包括光端机和光缆线路)设有备用系统。数字终端设备出现故障时,用更换机盘的方式解决。

主备用系统一般采用 APS(自动倒换协议),APS 保护方式有 1+1、1:1、1:N 等几种。光电器件的可靠性越高,转换比就可以取得越大。目前光电器件的可靠性已经大大改善,执行倒换的机会并不多。备用系统一般取热备用或者无空闲备用方式,即正常状态下,备用系统和主用系统均用于通信,只有当主用系统出现即告故障时,才将备用系统传送的额外业务信号切断,将主用系统传递的信号改由备用系统传送。系统应同时具有自动和人工倒换功能,自动倒换时间为 50 ms。倒换顺序应遵循如下原则:

- (1) 先故障的系统先倒换;
- (2) 同时故障的系统,按重要性顺序在前的系统倒换;
- (3) 备用系统已占用或故障时,主用系统故障不倒换;
- (4) 倒换系统自身故障时,主用系统故障不倒换。

4. 供电系统

端局一般设在市内,市内机房有专门的电力室向所有通信设备供电。考虑到市电停电问题,端局应配有大容量蓄电池采取浮充方式供电,只有电力不足的地方,才需配备油机发电。中继站供电的传统方式是由端局远供,即在敷设光缆时,同时敷设一代供电电缆。远供方式经济上不合理,因为供电必定要有变电,一个端局管理的中继站可能很多,端局的供电系统变得庞大。远供方式还有一个重大的缺点是容易“引雷入机”。目前倾向于中继站就地供电方式。这就要求工程设计时,注意中继站选址应考虑当地的供电条件。中继站的其他供电方式有如下三种:

- (1) 太阳能电池加蓄电池浮充供电;
- (2) 车载发电机加蓄电池供电;
- (3) 选择有人中继站作为供电站,用油机发电向附近的无人中继站供电。油机发电也采取浮充方式,即白天油机发电供电的同时,对蓄电池充电,晚间供电站改用蓄电池供电,油机停,可以减少值勤人员。

机房供电电源为 -24V 或 -48V 或 -60V,目前优选 -48V 供电。两端机机盘常用的电源为 +5V、-5V 等,所以光纤通信设备的辅助系统还包括电源电路。

2.3 光纤数字系统的主要性能指标

1. 系统参考模型

光纤通信系统作为通信网中的传输部分，其传输性能的好坏直接影响全网全程的通信质量，所以要考察光纤通信系统的传输性能，就应把它放在整个通信网中考虑，为了有机地分析整个通信网，ITU-U 提出了“系统参考模型”的概念，并规定了系统参考模型的性能参数及指标，光纤通信系统的质量指标就应遵循此规定。

数字系统参考模型原有三种假设形式：假设参考数字连接、假设参考数字链路及假设参考数字段。而对于目前广泛应用的 SDH 传输系统，只采用假设参考数字连接来分配系统的性能指标，然后直接考核复用段、再生段的性能。

下面分别予以介绍。

(1) 假设参考数字连接 HRX)

假设参考数字连接是为了通信网总的性能研究和指标分配而找出的通信距离最长、结构最复杂、传输质量最差的连接。如果在这种连接下的传输质量都可满足，那么其他任何连接情况均可满足。这种连接是用假设的参考模型来表示，即假设参考数字连接包含所有的传输、交换及其他功能单元。ITU-U 建议的一个标准的最长 HRX 包含 14 个假设参考数字链路和 13 个数字交换点，全长 27500km，它是一个全数字的 64kbit/s 的连接。具体组成如图 2-3 所示。

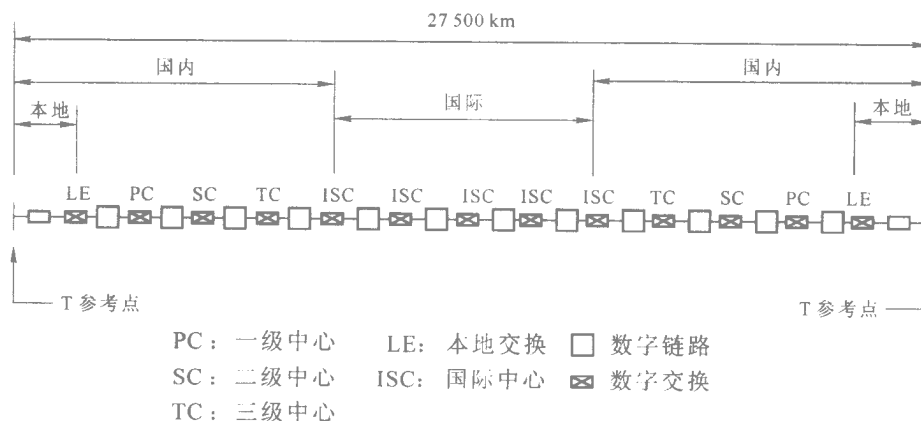


图 2-3 假设参考数字连接组成图

(2) 假设参考数字链路 HRDL)

为了简化数字传输系统的研究，把 HRX 中的 2 个相邻交换点的数字配线架间所有的传输系统、复、分设备等各种传输单元 (不包括交换) 用假设参考数字链路 (HRDL) 表示。ITU-T 建议 HRDL 的合适长度是 2500km，根据我国地域广阔的特点，我国长途一级干线的数字链路长度为 5000km。

(3) 假设参考数字段 (HRDS)

为了具体提供数字传输系统的性能指标，把 HRDI 中相邻的数字配线架间的传输系统（不包括备用设备）用假设参考数字段表示。根据我国的特点，长途一级干线的 HRDS 为 420 km，长途二级干线的 HRDS 为 280 km。在光纤系统中 HRDS 的两端是光端机，中间是光缆传输线路及若干光中继器。当然，一个光纤通信系统可以由若干 HRDS 组成。

综上所述，HRX 的总性能指标可以按比例分配到其中的 HRLD 中去，HRLD 上的性能指标又可以再分配到 HRDS 中去。光纤通信系统的性能指标是在这三种参考模型的基础上指定的，它的重要指标有误码特性和抖动特性。

2. 误码特性

(1) 误码的含义

误码是指在数字传输系统中，当发送端发送“1”码或“0”码时，接收端收到的却是“0”码或“1”码，也就是说数字信号在传输时发生了错误，以致影响传输系统的传输质量。我们就用误码性能参数来衡量误码对传输质量的影响大小。

造成误码的原因有系统内部噪声及定位抖动，此外还有色散引起的码间干扰等。

平均误码率 (BER)

工程上常采用长期平均误码率 (BER)。BER 是指在一段相当长的测试时间内 (>24 小时) 出现的误码个数与传输的总码元数的比值，可表示为

$$BER = \frac{\text{误码个数}}{\text{传输的总码元数}}$$

其中传输的总码元数等于系统传输码速率与测试时间的乘积。由定义可知，BER 只反映了测试时间的平均误码结果，它无法反映误码的随机性和突发性，但这种局限性可由下述的两种误码性能参数来弥补。由于平均误码率 (BER) 与误码发生的机制有关，简单实用，故其在系统设计中仍有广泛应用。BER 没有被归于 ITU-T 建议的误码性能参数之中。

(2) 基群以下速率系统的误码性能参数

描述低速率系统误码性能的参数遵循 ITU-TG.821 建议。其主要参数有：

严重误码秒 (SES)

考虑到误码发生时，不仅有随机地、单个地发生，还有突发地、成群地发生，所以引入严重误码秒 (SES) 来衡量严重误码出现的频繁程度。通常把 BER 劣于 1×10^{-3} 的秒称为严重误码秒。

误码秒 (ES)

随着 ISDN 的发展，64 kbit/s 越来越多地传送非话音业务，特别是对于数据通信，其数据是成块传输的，每个数据块占用线路的时间是秒的数量级，只要 1 秒内有误码产生，相应的数据块就要重发。因此引入了误码秒 (ES) 来描述这种情况下的误码性能，通常把有误码发生的秒称为误码秒。

需要说明的是 SES、ES 这二个误码性能的指标，都要求用平均时间百分数表示，它们的定义方法如下：

取总观测时间为 S_T 秒，它的大小可以从几天到 1 个月。在 S_T 中，如果连续 10s 每秒的误

码率劣于 1×10^{-3} 则称这段时间为“不可用时间”。设不可用时间为 S_N 秒 则 S_T 中其他时间为“可用时间”设可用时间为 S_U 秒 则

$$S_U = S_T - S_N$$

若可用时间用“分钟”计算 则“可用时间”为

$$M_u = \frac{S_U}{60}$$

以上所述的误码性能参数及指标要求均是针对 $N \times 64 \text{ kbit/s}$ ($1 \leq N < 32$) 接口处的情况 而在实际系统中 更多的是高速率接口 高速率接口与 64 kbit/s 接口处的误码性能指标有所区别。

ITU-T 建议 G.821 对 64 Kbit/s 全程 27500 km 端到端连接的性能规定与指标分配见表 2-2 与图 2-4

表 2-2 64kbit/s 数字连接的误码性能要求

参 数	表 示	性 能 要 求
误码秒	ES	ES 占可用时间的比例 $ES\% < 8\%$
严重误码秒	SES	SES 占可用时间的比例 $SES\% < 0.2\%$

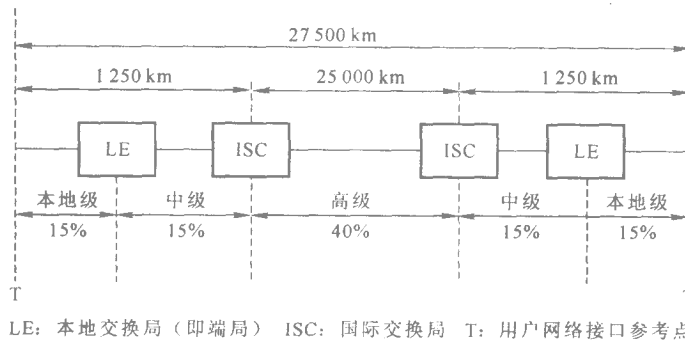


图 2-4 基群以下数字连接的全程指标分配

(3) 高速率 SDH 系统的误码性能

高速率系统的误码性能指标遵循 ITU-T G.826 建议。其定义的误码参数以“误码块”为基础，所谓“误码块”即传输中一组码（比特）的集合。如此定义有利于进行在线监测。依据此定义的误码性能参数有：

- 误码块 (EB) 在一组码 (一块) 中有一个或多个错误比特。
- 误块秒 (ES)：在一秒内有一个或多个误码块。
- 严重误块秒 (SES) 在一秒内有 30% 以上的误码块。
- 背景误码块 (BBE) 发生在 SES 以外的误码块。
- 误块秒比 (ESR)：在规定的测量时间间隔内出现的 ES 数与总的可用时间之比。
- 严重误块秒比 (SESR)：在规定的测量时间间隔内出现的 SES 数与总的可用时间之比。
- 背景误块比 (BBER)：BBE 数与扣除不可用时间和 SES 期间所有块数后的总块数之比。

(4) SDH 系统误码性能指标的分配

ITU-T G.826 建议规范的是运行在基群和基群以上速率数字通道的误码性能事件、参数和指标。与 G.821 一样,G.826 提出的误码性能指标具体数值也是针对 27500km 的假设参考通道规定的 如图 2-5 及表 2-3 所示。该建议把总指标分成国际部分,以作为指标细分的依据。

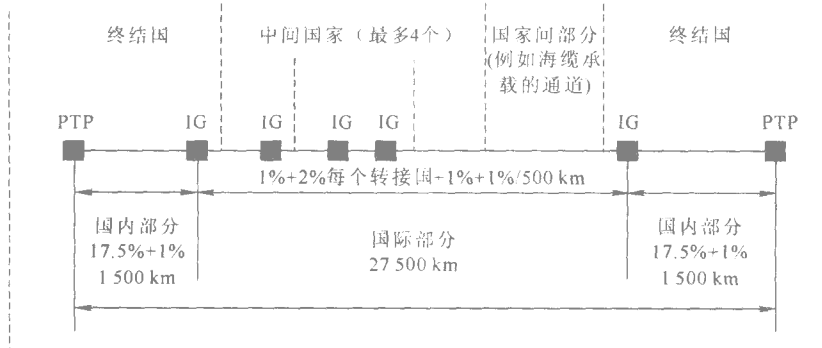


图 2-5 高速率数字通道全程指标分配

表 2-3 基群和更高速率 27500km 国际数字 HRP 端到端误码性能指标

速率(Mbit/s)	1.5 ~ 5	5 ~ 15	15 ~ 55	55 ~ 160	160 ~ 3500
比特块	800 ~ 5000	2000 ~ 8000	4000 ~ 20000	6000 ~ 20000	15000 ~ 30000
ESR	0.04	0.05	0.075	0.16	
SESR	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
BBER	2×10^{-4}	2×10^{-4}	2×10^{-4}	2×10^{-4}	10^{-4}

对于我国的情况,国内同步传输网各类假设参考数字段 HRDS 的误码性能应满足表 2-4 ~ 表 2-7 的要求。除用户网之外,实际数字段长度不是标准假设参考数字段时,可按距离成比例变化。

表 2-4 420km HRDS 误码性能指标

速率(Mbit/s)	155520	622080	2488320
ESR	3.696×10^{-3}	待定	待定
SESR	4.62×10^{-5}	4.62×10^{-5}	4.62×10^{-5}
BBER	2.31×10^{-6}	2.31×10^{-6}	2.31×10^{-6}

表 2-5 280km HRDS 误码性能指标

速率(Mbit/s)	155520	622080	2488320
ESR	2.46×10^{-3}	待定	待定
SESR	3.08×10^{-5}	3.08×10^{-5}	3.08×10^{-5}
BBER	3.08×10^{-6}	1.54×10^{-6}	1.54×10^{-6}

表 2-6 50km HRDS 误码性能指标

速率(Mbit/s)	155520	622080	2488320
ESR	4.4×10^{-4}	待定	待定
SESR	5.5×10^{-6}	5.5×10^{-6}	5.5×10^{-6}
BBER	5.5×10^{-7}	2.75×10^{-7}	2.75×10^{-7}

表 2-7 用户网误码性能指标

速率(Mbit/s)	155520	622080	2488320
ESR	9.6×10^{-3}	待定	待定
SESR	1.2×10^{-4}	1.2×10^{-4}	1.2×10^{-4}
BBER	1.2×10^{-5}	6×10^{-6}	6×10^{-6}

需要指出的是，光缆传输工程设计和工程验收（交付）指标是网络性能指标在光缆传输工程领域中的应用，一般不属于 ITU-T 建议范围。我国在国标 GB/T15941—95 和行标 YD/T768—95 等标准中提出了网络性能指标在光缆传输工程中应用的一些原则。

我国国内 PDH 数字通道差错性能的维护限值，参照采用 ITU-T 的 M.2100 建议对国际 PDH 数字通道的指标要求。国内 SDH 数字通道的投入业务和维护性能限值，等效采用 ITU-T 的 M.2100 建议对国际 SDH 数字通道的指标要求。

(5) 误码性能参数的测试

对于光纤通信系统而言，由于它的高传输质量，所以它的误码性能指标均可按高级电路对待，即每公里光纤分得各项总指标的 0.0016% 那么就可得 L km 长度的光纤通信系统各项误码性能指标。

在实际测试中，为方便起见，都采用对端电接口环回，本端测试的方法，测试方框图如图 2-6 所示。

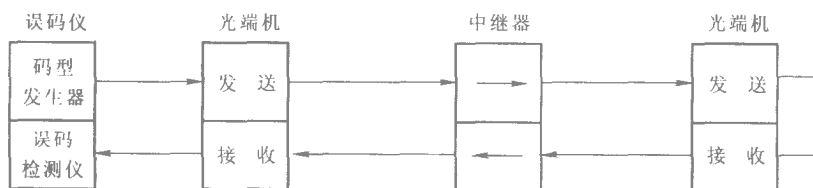


图 2-6 系统误码性能参数测试框图

测试时，先将对端电接口环回，然后由本端误码仪发送规定的测试信号，环回后在本端接收口检测出有关误码的情况，一般测试时间在 24h 以上。最后根据统计的误码结果计算出 BER、SES 和 ES 指标。由测试方法可知，这些指标是实际光纤通信系统指标的 2 倍。