

光纤通信技术丛书

光纤通信系统测试



长江光通信产业集团工程部 主编

杨同友 副主编

人

614

光纤通信系统测试

杨同友 刘炎卿 编著

长江光通信产业集团工程部 主编
人民邮电出版社 出版

9310177

序

在世界电信技术革命的潮流中，光纤数字通信技术异军突起，迅猛发展，应用领域不断扩大，成为现代通信的支柱。各经济发达国家正以其代替传统的电缆通信系统，并且正在从长途干线、市话中继线路向光纤用户系统发展。九十年代光纤将进入千家万户。

我国发展光纤通信技术取得了很大成绩。在“抓应用、促发展”方针的推动下，在试验工程取得成功的基础上，八十年代中期以来迅速进行了推广应用，据不完全统计，到1990年底，全国共建成光纤数字通信线路211条，光缆总长度为8650公里，最长的线路达到1000公里，在这些线路中，采用国产设备的线路为144条，占68.3%，光缆长度为5300公里，占光缆总长度的61.2%。九十年代是我国通信大发展时期，光纤通信将有更大规模的发展。

随着光纤通信技术的推广应用，光纤数字通信系统的测试、维护和常用仪表的使用，日益成为广大用户关心的重要问题。在大发展的新形势下，光纤通信专业技术人才不足，系统测试、维护和使用的书也很少，为了满足用户的迫切需要，人民邮电出版社、武汉长江光通信产业集团工程部请从事光纤通信技术研究和多年从事实际工作的同志撰写了《光纤通信系统测试》一书。这是我国第一本较好地介绍光纤数字通信系统测试与维护的书。它较全面地论述了CCITT建议的有关光纤数字通信系

统主要特性指标的基本概念。从实际出发，介绍了光纤线路和设备测试的主要技术指标要求、测试方法和测试注意事项。同时还对光纤线路和设备的维护进行了较详细的介绍。它对光纤数字通信系统的使用与维护，提高光纤通信的可靠性，提高系统的经济效益，提高光纤通信系统维护人员的理论和实际操作水平，都将起到重要的作用。为此，谨向社会各界从事光纤通信的同行们推荐这本书，希望能发挥其作用，促进我国光纤通信的发展，为广大读者服务。

梁 健

1991年2月28日

目 录

第一章 概论	1
1.1 光纤数字通信系统的组成	1
1.2 CCITT 关于数字系统接口建议	9
第二章 光纤数字通信系统的质量指标	14
2.1 假想数字参考线.....	14
2.2 误码特性.....	17
2.3 抖动特性.....	24
2.4 可靠性.....	29
第三章 光接口指标与测试	36
3.1 平均发送光功率的测试.....	37
3.2 消光比测试.....	38
3.3 光接收机灵敏度测试.....	40
3.4 光接收机动态范围的测试.....	53
第四章 电接口指标与测试	58
4.1 输入口容许连线衰减测试.....	59
4.2 输入口容许码速偏移测试.....	60
4.3 输入口反射衰减测试.....	61
4.4 输出口脉冲波形测试.....	63
4.5 抖动测试.....	66
第五章 光纤数字通信系统的设备维护与测试	75
5.1 光端机及 PCM 数字复接设备的维护与测试	75
5.2 PCM 基群设备的维护与测试	92

第六章 光缆线路的维护与测试	109
6.1 光缆线路的日常维护	110
6.2 光缆线路故障的测试	119
6.3 光缆线路故障的处理	124
第七章 光纤数字通信系统常用仪表简介	129
7.1 光时域反射仪 (OTDR)	129
7.2 误码、抖动测试仪表	139
7.3 光功率计	146
7.4 光纤熔接机	149
7.5 P2012 Ⅱ PCM 终端测试仪	157
7.6 稳定光源	164

第一章 概 论

光纤通信是以光波为载波,光纤为传输媒介的通信方式。在光纤通信系统中传输的信息,如电话和数据等电信号,首先在系统的发送端转变为光信号,即光调制,将低频电信号调制到高频的光载波上;已调制的光载波经光纤传输到接收端,然后将光信号转变为电信号,即光检波,从解调光波中取出低频电信号。光纤通信系统有数字和模拟两类,本书专门介绍光纤数字通信系统的测试与维护。

光纤数字通信系统的测试与维护是光纤通信系统的配套技术,是保证系统正常稳定工作的重要手段,它与光纤数字系统的组成和接口特性等许多因素有关。因此,在具体介绍测试与维护技术之前,必须简要地介绍光纤数字通信系统的组成和接口要求,以建立一个较完整的系统概念。

1.1 光纤数字通信系统的组成

既然光纤通信是以光波为载波,那么与电通信系统比较,其

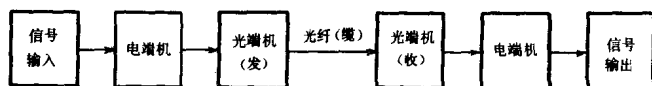


图 1-1 光纤通信系统基本构成

9310177

特点就是传递信息的媒介不是电缆而是能够提供光的通路的光纤(缆)。因此,一个最简单的光纤通信系统应该包括两个部分,一是信号及其处理部分,另一是光路传输部分。目前,全光通信技术尚未成熟,商用的光纤通信系统仍然需要用电信号过渡,图 1-1 以一个传输方向为例画出了一个最简单的光纤通信系统的方框图。其中,光、电端机就是信号处理部分,光端机发送部分最后将电信号变成被调制的载有信号信息的光信号(即 E/O 变换),再由光路传送至对方光端机的接收部分,后者进行反变换(即 O/E 变换)还原成电信号。E/O 变换和 O/E 变换由光电器件完成,光源(激光器、发光管)将电信号变成光信号,而光电检波器(或称为光电探测器)则将光信号变成电信号,由于材料和制造工艺的原因,它们可以工作在不同的波长范围,目前趋势是向长波长($1.3\mu\text{m}$ 、 $1.55\mu\text{m}$)发展。

根据信号调制方式的不同,光纤通信系统又分为数字和模拟两大类,由于篇幅所限,此处只对前者作重点介绍,主要介绍目前普遍使用的 PCM—IM(即脉冲编码—强度调制)数字光纤通信系统。

此外,根据被传送的信号信息量的大小,其处理部分也各不相同。在脉冲编码—强度调制的数字光纤通信系统中,电端机采用脉冲编码(即 PCM)数字复接设备,光端机采用强度调制方式。脉冲编码数字通信技术成熟较早,按照信息容量的大小,分成若干个数字系列等级(即若干次群),低次群容量小、通信速率低,高次群容量大、通信速率高。这就要求光端机的速率也应与之相适应。数字光纤通信系统通常沿用 PCM 数字通信系统的制式。按一次群复接的话路数目以及编码速率的高低,世界各国分别采用两种制式,一种是以日本和美国为代表的 24 路制,其各次群复接的话路数及相应的速率见表 1-1。我

国和西欧各国采用 30 路制，其复接话路数和速率见表 1-2。

光纤通信系统中作为光信号传输媒介的光纤（缆）必须与终端设备中光电器件的性能相适应，其低损耗窗口的波长应与光电器件的波长一致。除此之外，光纤还有单模和多模之分，单模光纤传输频带宽，衰耗小，适合于长距离、大容量的通信系统。因此，长波长、单模光纤通信系统是今后发展的方向。

不过，不论是多模系统还是单模系统，也不管是长波长还是短波长，均不影响所构成的系统结构及其终端设备的程式，它们仅取决于该系统的容量或码速。

下面仅就数字光纤通信系统中不同码速的各个系统的结构情况加以介绍。

表 1-1 24 路制

（以 1544kbit/s 为第一级比特率）

数字系列 等级	码速率 (kbit/s)	复用话路数
0	64	1
1 (一次群， 即基群)	1544	24
2	6312	96
3	32064	480
4	97728	1440

表 1-2 30 路制

（以 2048kbit/s 为第一级比特率）

数字系列 等级	码速率 (kbit/s)	复用话路数
0	64	1
1 (一次群， 即基群)	2048	30
2	8448	120
3	34368	480
4	139264	1920

1.1.1 一次群光纤通信系统

以 30 路制为例，一次群光纤通信系统的信号（即话音信号——下同）由 PCM 一次群（亦称基群），电端机进行处理，每 30 个话路为一群，处理后变成比特率为 2M（2048kbit/s）的数

字信号，然后进入光端机进行光调制，光信号由光纤（光缆）传送到对方 2Mbit/s 光端机，还原成 2Mbit/s 的数字信号后再由对方 PCM 一次群电端机还原成 30 路话音信号，分别送至接收终端，这样 30 对用户即可同时利用这套系统进行通话，其方框

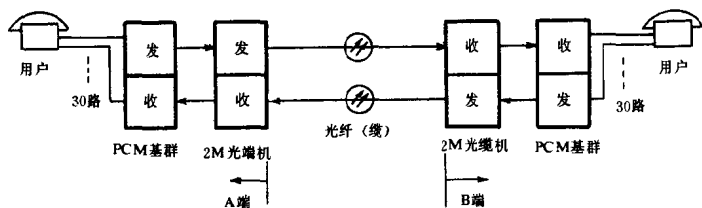


图 1-2 一次群（2M）光通信系统

图如图 1-2 所示。由图可知，在只有主用系统的情况下，一个光通信系统要完成双向通信只需要两根光纤（或一根两芯光缆）即可完成光路传输任务，一般为了稳定可靠的工作，光端机都装有备用系统，当主用系统发生故障时，能自动倒换到备用系统（有时在维护工作中也利用人工倒换），根据需要有一主一备和多主一备。倒换方式则有电倒换和光倒换两种。如图 1-3 所示。在光开关技术尚未成熟之前，目前广泛采用电倒换方式，因此，光纤的数量将随着光端机主备用比例的不同有所不同，一主一备时，需要四根光纤（或一根四芯光缆）二主一备则需六根光纤（或一根六芯光缆）等等。

图 1-3 (c) 则给出了多主一备（以三主一备为例）的连接示意图，图中每个系统均包括发和收，用一根光纤代表两个方向的传输通路。

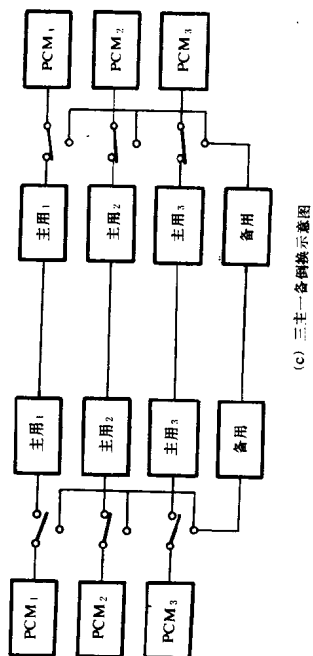
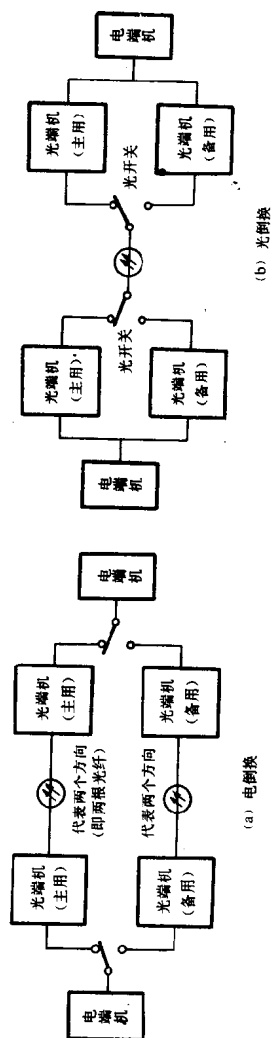


图 1-3 系统倒换方式

1.1.2 高次群光纤通信系统

高次群光纤通信系统是将更多的话路用较高速率的光电端机集中传输，这样可以节省设备的投资。目前统一采用每四个低次群由一个较高次群数字复接设备复接，每个低次群数字复接设备接入较高次群数字复接设备的一个支路，复接后的输出称之为群路。例如，如果有 120 个话路，可将它们分成四组，每 30 路处理成码速为 2048kbit/s 的一个基群数字信号，共组成四个基群。此四个基群的信号分别接入二次群的四个支路。二次群复接后，由群路输出一个码速为 8448kbit/s 的数字信号。如果有 480 个话路，则分成 16 组，16 个基群再分成四组，分别由四个二次群复接。四个二次群的四个群路的 8448kbit/s 信号再分别接入一个三次群的四个支路，后者的群路输出一个码速为 34368kbit/s 的数字信号……如此类推。最后再由相应码速的光端机和光纤（光缆）完成光信号的传输。在接收端进行反变换，即由群路输入，分接成四个支路，分别接入四个较低次群，直到最后分接为每一个话路。码速越高、所需光纤（光缆）的带宽（色散）要求亦高，一般码速较低的系统可用多模光纤，三次群以上都用单模光纤。

图 1-4 绘出了一个二次群光纤通信系统的例子，其它高次群可依此类推。

1.1.3 通信网的综合应用

前面所述均是以话音信号作为信号的例子。其实，其它信号（模拟的或数字的）经适当的处理后，也同样可以接入相应的数字复接设备，只要比特率相符合，接口满足 CCITT 有关建议的要求，都可以进行复接，如图 1-5 所示。

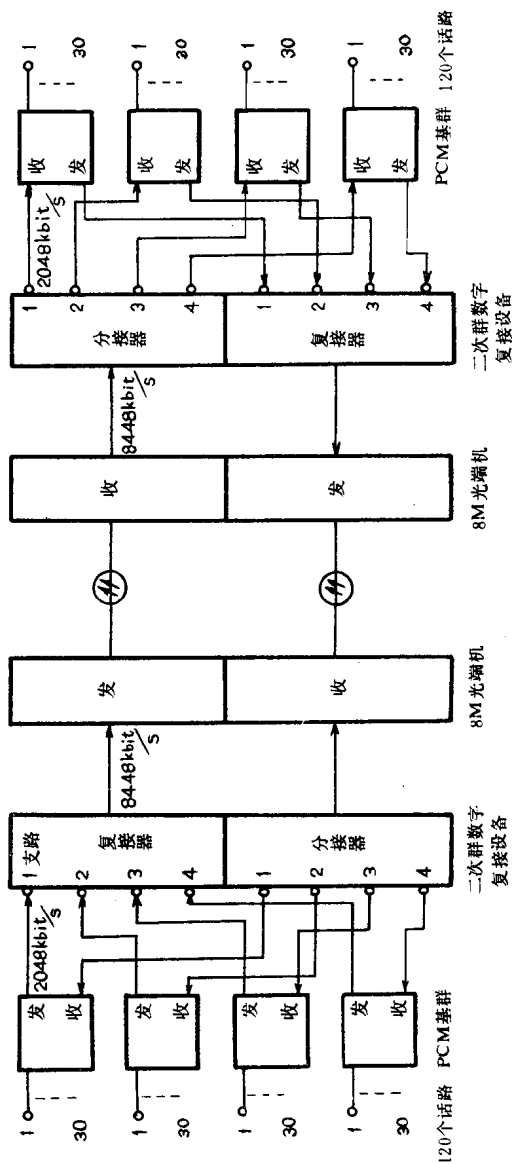


图 1-4 二次群 (8M) 光通信系统构成方框图

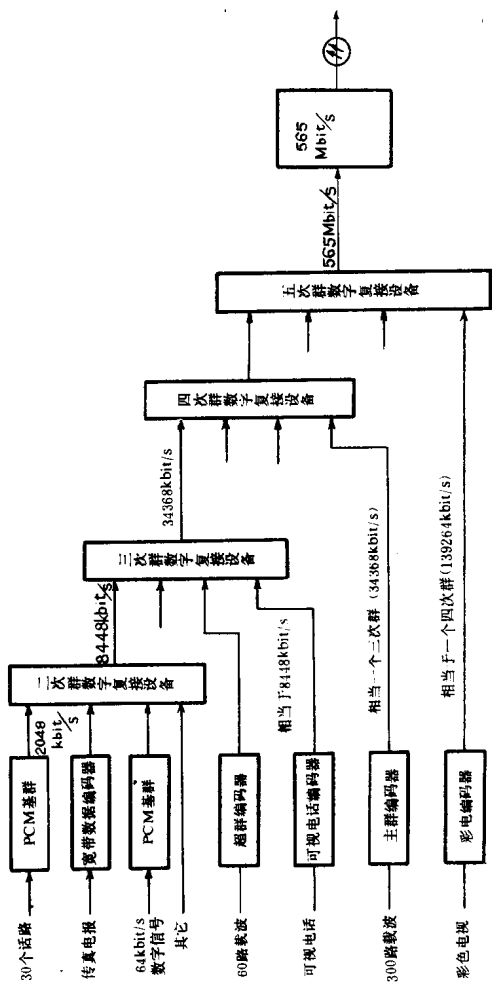


图 1-5 通信网的综合应用

1.1.4 长途通信系统

上面举的例子，都是点对点的光纤通信系统，只能作为短距离通信用。从发送端的光端机输出点至接收端光端机的输入点之间的距离称之为中继距离。由于发送端光源(LD, LED)的发送光功率，接收机的灵敏度以及光路特性(光纤的色散、衰减、接头损耗等)的限制，中继距离不可能太长，因此，当收发两点距离过长时(例如由一个城市至另一个城市)，必须加设若干个中继站。中继站中装有光中继器，它将前站的光信号接收下来进行适当处理后，再重新发往下一站。经过中继站的处理，信号的衰减和畸变得以改善，能继续向下一站传输而通信质量不致于劣化。中继站分为有人中继站和无人中继站。当中继站和终端站或者某两个中继站之间需要利用一部分话路作为通信时(即所谓区间通信)，系统必须有上、下话路的功能。一个完整的四次群长途通信系统的方框图如图1-6所示。

1.2 CCITT 关于数字系统接口建议

如前面介绍，一个通信系统都是由若干部分(如电端机、光端机、光纤光缆等)组成的，这样就存在一个彼此互相连接的问题。它们各自的输入口和输出口必须满足一定的要求(即接口要求)才能彼此相连接。CCITT(即国际电报电话咨询委员会)对接口下了一个定义，称它为“两个相关系统之间的公共界面”，在光通信系统中两个相接的设备之间，上游设备的输出口和下游设备的输入口就是它们的公共界面。对于PCM复用设备的输入口和输出口，CCITT早有建议，世界各国都已执行，因此，与PCM复用设备相接的光端机也应满足复接设备的接

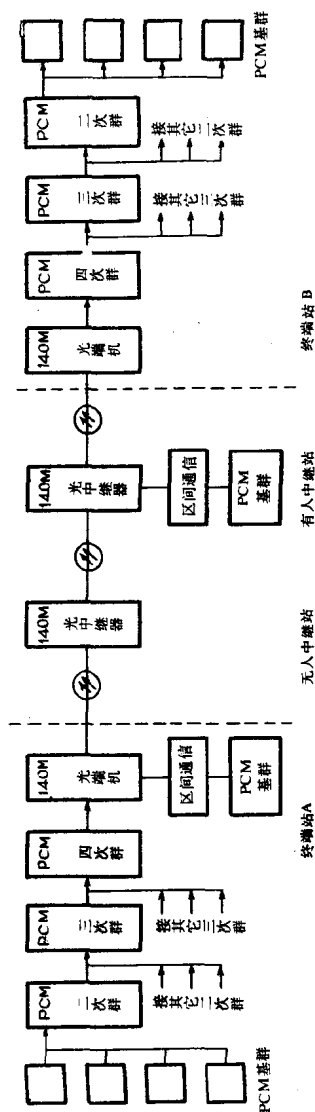


图 1-6 长途光通信系统 (四次群)

口要求, 否则就无法对接而正常运转, 端机和系统的各项测试都是为了检查这些接口是否满足要求。接口要求的内容很多, 例如通信速率 (码速、比特率)、代码、输出口波形、抖动、输入阻抗、反射损耗及容许抖动的极限……等等。各项指标 CCITT 都作了详尽而严密的描述, 所有测试规范 (包括测试方法、指标要求等), 都是根据 CCITT 的各项建议而制定的, 因此, 介绍一下这些接口要求, 可以帮助对以后的测试原理的理解。

详细建议可参考有关资料, 例如关于系列数字接口的物理/电气特性归入建议 G. 703; PCM 信道音频四线及二级接口间的性能特征分别归入 G. 712 和 G. 713; 高次群接口要求则参考 G. 742—G. 754 等等。根据这些建议, 不同码速的系统, 接口要求各不相同, 下面分别加以介绍。