

第 1 章 光缆施工与维护



1.1 光缆测试

1.1.1 光缆的测试类型和项目

光缆测试包括单盘光缆测试、光缆接续现场监测、光缆中继段测试。

1. 单盘光缆测试

单盘光缆测试应在光缆运达现场、分屯点进行，主要进行外观检查和光电特性测试。

(1) 外观检查：检查光缆盘有无变形，护板有无损伤，各种随盘资料是否齐全。外观检查工作应请供应单位一起进行。开盘后应先检查光缆外表有无损伤；对经过检验的光缆应做记录，并在缆盘上做好标识。

(2) 光缆的光电特性测试。

光缆的光电特性测试包括光缆长度复测、光缆单盘损耗测量、光纤后向散射信号曲线观察和光缆护层的绝缘检查等内容。

① 光缆长度复测应 100% 抽样，按厂家标明的折射率系数，用光时域反射仪 (OTDR) 测量光纤长度并计算光缆长度，对比光缆外皮标记长度，得出复测结果是否通过。

② 光缆单盘损耗应用后向散射法测试。测试时，应加 1~2km 的标准光纤 (尾纤)，以消除 OTDR 的盲区，并做好记录。

③ 光纤后向散射信号曲线用于观察判断光缆在成缆或运输过程中，光纤是否被压伤、断裂或轻微裂伤，同时可观察光纤随长度的损耗分布是否均匀，光纤是否存在缺陷。

④ 光缆护层的绝缘检查除特殊要求外，施工现场一般不进行测量。但对缆盘的包装及光缆的外护层要进行目视检查。

2. 光缆接续现场监测

在实际工程中，光纤连接损耗的现场监测普遍采用后向散射监测法。该方法在精确测量接头损耗的同时，还能测试光纤单位长度的损耗和光纤的长度，观测被接光纤是否出现损伤和断纤现象。在工程中应推广使用远端环回监测法，光纤连接损耗的评价应以该接头双向测试的算术平均值为准。

3. 光缆中继段测试

光缆中继段测试的内容包括中继段光纤线路衰减系数及传输长度、光纤通道总衰减、光纤后向散射信号曲线、偏振模色散 (PMD) 和光缆对地绝缘 (直埋部分)。

(1) 中继段光纤线路衰减系数 (dB/km) 及传输长度的测试：在完成光缆成端和外部光缆接续后，应采用 OTDR 在光纤配线架 (ODF) 上测量。中继段光纤线路衰减系



数应取双向测量的平均值。

(2) 光纤通道总衰减：包括光纤线路自身损耗、光纤连接损耗和两端连接器的插入损耗 3 部分，测试时应使用稳定的光源和光功率计经过连接器测量，可取光纤通道任一方向的总衰减。

(3) 光纤后向散射信号曲线（光纤轴向衰减系数的均匀性）的测试：在光缆成端接续和室外光缆接续全部完成、路面所有动土项目均已完工的前提下，用 OTDR 进行测试。光纤后向散射信号曲线应有良好的线形且无明显台阶，接头部位应无异常。

(4) 偏振模色散（PMD）测试：按设计要求测量中继段的 PMD。

(5) 光缆对地绝缘测试：该测试应在直埋光缆接头监测标识引出线测量金属护层的对地绝缘，其指标为 $10\text{M}\Omega\cdot\text{km}$ ，其中，允许 10% 的单盘不小于 $2\text{M}\Omega$ 。测量时一般使用高阻计，若测试值较低，则应采用 500V 兆欧表测量。

1.1.2 光纤损耗特性的测试方法

光纤损耗的测量方法一般使用插入法，背向散射法作为辅助。

光纤损耗要求在已成端的连接插件状态下进行测量，插入法是唯一能够反映带连接插件线路损耗的方法。这种方法的测量结果比较可靠，其测量偏差主要来自仪表本身及被测线路连接器插件的质量。

1. 测试具体方法

(1) 测试距离：由于光纤制造出来以后，其折射率基本不变，所以光在光纤中的传播速度就不变，测试距离和时间就是一致的。实际上，测试距离就是光在光纤中的传播速度乘上传播时间，对测试距离的选取就是对测试采样起始/终止时间的选取。测量时选取适当的测试距离，可以生成比较全面的轨迹图，对有效分析光纤的特性有很好的帮助，通常根据经验，选取整条光路长度的 1.5~2 倍最为合适。

(2) 脉冲宽度：可以用时间表示，也可以用长度表示，在光功率大小恒定的情况下，脉冲宽度的大小直接影响着光的能量的大小，脉冲宽度越大，光的能量就越大。同时，脉冲宽度的大小也直接影响着测试死区的大小，也就决定了两个可辨别事件之间的最短距离，即分辨率。显然，脉冲宽度越小，分辨率越高；脉冲宽度越大，测试距离越长。

(3) 折射率：待测光纤实际的折射率，这个数值由待测光纤的生产厂家给出，单模石英光纤的折射率为 1.4~1.6。越精确的折射率对提高测量距离的精度越有帮助。折射率对配置光路由也有实际的指导意义，实际上，在配置光路由的时候，应该选取折射率相同或相近的光纤进行配置，尽量减少不同折射率的光纤芯连接在一起形成一条非单一折射率的光路。

(4) 测试波长：OTDR 激光器发射的激光的波长。在长距离测试时，由于 1310nm 衰减较大，所以激光器发出的激光脉冲在待测光纤的末端会变得很微弱，这样受噪声影响较大，形成的轨迹图就不理想，宜采用 1550nm 作为测试波长。因此，在长距离测试的时候，适合选取 1550nm 作为测试波长，而普通的短距离测试选取 1310nm 也可以。

(5) 平均值：是为了在 OTDR 上形成良好的显示图样，根据用户需要，动态或非动态地显示光纤状况而设定的参数。由于测试过程中受到噪声的影响，所以光纤中某一点的瑞



利散射功率是随机的，要确知该点的一般情况，减小接收器固有的随机噪声的影响，要求其某一段测试时间内的平均值。根据需要设定该值，如果要求实时掌握光纤的情况，就需要设定时间为实时。

(6) 连接测试尾纤。

首先清洁测试侧尾纤，将尾纤以垂直方式插入仪表测试插孔中，将尾纤凸起 U 形部分与测试插口凹回 U 形部分充分连接，并适当拧固。在线路查修或割接时，被测光纤与 OTDR 连接之前，应通知该中继段对端局站维护人员取下 ODF 上与之对应的连接尾纤，以免损坏光纤连接器或法兰盘。

① 波长选择：选择测试所需波长，有 1310nm、1550nm 两种波长可供选择。

② 距离设置：首先用自动模式测试光纤，然后根据测试光纤长度设定测试距离，通常是实际距离的 1.5 倍，主要是为了避免出现假反射峰而影响判断。

③ 脉冲宽度设置：仪表可供选择的脉冲宽度一般有 10ns、30ns、100ns、300ns、1 μ s、10 μ s 等参数选择，脉冲宽度越小，取样距离越短，测试越精确；反之则测试距离越长，精度相对要低。根据经验，一般 10km 以下选用 100ns 及以下参数，10km 以上选用 100ns 及以上参数。

④ 取样时间：仪表取样时间越长，曲线越平滑，测试越精确。

⑤ 折射率设置：根据每条传输线路的要求不同而定。

⑥ 事件阈值设置：指在测试中对光纤的接续点或损耗点的衰减进行预先设置，当遇有超过阈值事件时，仪表会自动分析定位。

2. 测试时的注意事项

(1) 光输出端口必须保持清洁，需要定期使用无水乙醇进行清洁。

(2) 仪器使用后，要将防尘帽盖上，同时必须保持防尘帽的清洁。

(3) 定期清洁光输出端口的法兰盘连接器。如果发现法兰盘内的陶瓷芯出现裂纹和碎裂现象，则必须及时更换。

(4) 适当设置发光时间，延长激光源的使用寿命。

(5) 清洁光纤接头和光输出端口的作用如下。

① 由于光纤纤芯非常小，所以附着在光纤接头和光输出端口的灰尘与颗粒可能会覆盖一部分输出光纤的纤芯，导致仪器的性能下降。

② 灰尘和颗粒可能会导致输出端光纤接头端面的磨损，这样将降低仪器测试的准确性。

1.1.3 光纤色散特性的测试方法

光纤色散可以从光纤的时域特性和频域特性两方面描述，包括材料色散、波导色散和模式色散。其中，材料色散和波导色散都是由于信号由不同频率成分携带而引起的脉冲展宽，所以它们也称频率色散；模式色散是由于信号由不同模式成分携带而引起的脉冲展宽。在多模光纤中，3 种色散都存在，只是模式色散远大于频率色散，因此主要考虑模式色散，并用光纤带宽来描述；在单模光纤中，只存在频率色散，用色散系数来描述。



1. 多模光纤的带宽及测量方法

由上所述，光纤带宽和脉冲展宽在实质上是—致的，假设光纤输入、输出端脉冲波形都近似为高斯分布，如图 1-1 所示。其中，图 1-1 (a) 是输入光脉冲波形，幅度为 A_1 ， $A_1/2$ 对应的宽度 $\Delta\tau_1$ 为此脉冲波形宽度；图 1-1 (b) 是输出光脉冲波形，幅度为 A_2 ， $A_2/2$ 对应的宽度 $\Delta\tau_2$ 为此脉冲波形宽度。脉冲通过光纤后的展宽 $\Delta\tau$ 与其输入、输出波形宽度 $\Delta\tau_1$ 、 $\Delta\tau_2$ 的关系为

$$\Delta\tau = \sqrt{(\Delta\tau_2)^2 - (\Delta\tau_1)^2}$$

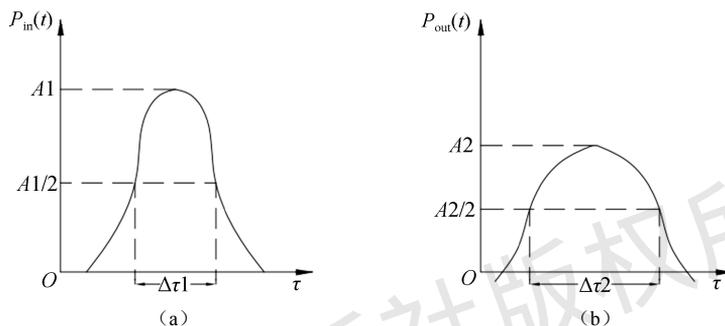


图 1-1 光纤输入、输出端脉冲波形

可见，只要测出 $\Delta\tau_1$ 和 $\Delta\tau_2$ ，然后代入上面公式中即可算出展宽 $\Delta\tau$ 。

如果与图 1-1 (a) 对应的频谱函数为 $P_{in}(f)$ ，与图 1-1 (b) 对应的频谱函数为 $P_{out}(f)$ ，则光纤的频率响应特性 $H(f)$ 为

$$H(f) = \frac{P_{out}(f)}{P_{in}(f)}$$

当上式等于 1/2 时，对应的频率称为光纤的带宽，用 f_c 表示，即

$$101gH(f_c) = 101g \frac{P_{out}(f_c)}{P_{in}(f_c)} = 101g \frac{1}{2} \text{dB} = -3\text{dB}$$

因此， f_c 是光纤的 3dB 光带宽。

但是，在实际测量光纤带宽时，总是把被测光纤的输出光功率通过光电检测器变为电信号再进行处理。由前可知，光电检测器的输入光功率与输出电流成正比，因此有

$$\frac{P_{out}(f_c)}{P_{in}(f_c)} = \frac{I_{out}(f_c)}{I_{in}(f_c)} = \frac{1}{2}$$

把 $\frac{I_{out}(f_c)}{I_{in}(f_c)} = \frac{1}{2}$ 用分贝形式表示，即

$$201g \frac{I_{out}(f_c)}{I_{in}(f_c)} = P_{12}(f_c)(\text{dBm}) - P_{11}(f_c)(\text{dBm}) = 201g \frac{1}{2} \text{dB} = -6\text{dB}$$

我们把用分贝表示的值称为电平值。

因此， f_c 又称为光纤的 6dB 电带宽，如图 1-2 所示。

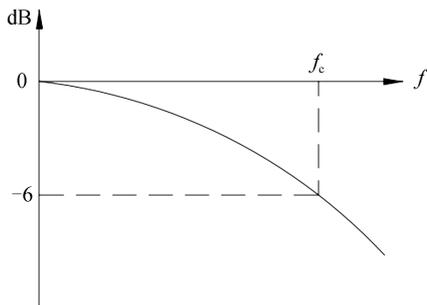


图 1-2 光纤的频率响应特性曲线

系统设计经常用到的光纤的基带带宽 B 即 f_c , B 和脉冲展宽 $\Delta\tau$ 间的关系如下:

$$B = \frac{441}{\Delta\tau}$$

式中, B 的单位为 MHz, $\Delta\tau$ 的单位为 ns。可见, 知道 $\Delta\tau$ 后, 根据上式即可求得光纤的基带带宽。

根据以上对光纤带宽的分析, 可以从时域和频域两个角度对它进行测量, 对应的方法分别是时域法和频域法, 这两种测量方法也是 ITU-T 规定的基准测试方法。

(1) 时域法。

时域法是通过测量光纤中的脉冲展宽进而计算出光纤带宽的一种测量方法。它的测试方框图如图 1-3 所示, 测量步骤如下。

先用一脉冲发生器去调制光源, 使光源发出极窄光脉冲信号, 且使其波形尽量接近高斯分布, 注入系统采用“满注入”方式, 将符合要求的光信号耦合进光纤。首先用一根短光纤将“1”“2”两点相连, 即用短光纤的输出信号代替被测光纤的输入信号, 这时从示波器中得到的波形相当于 $P_{in}(t)$, 并测量它的宽度 $\Delta\tau_1$; 然后将被测光纤连到“1”“2”两点之间, 此时从示波器中得到的波形为 $P_{out}(t)$, 并测量它的宽度 $\Delta\tau_2$ 。将 $\Delta\tau_1$ 和 $\Delta\tau_2$ 代入前面所述公式中, 即可算出基带带宽 B 。

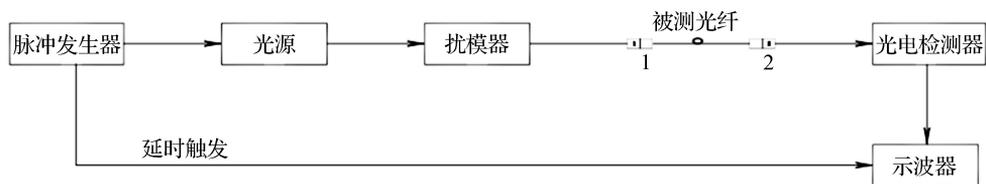


图 1-3 时域法光纤带宽测试方框图

(2) 频域法。

频域法是指当光纤传输已调制的光波时, 在光纤输出端经光电检测器转换, 并用频谱分析仪读出电信号幅值, 信号幅值的电平值下降 6dB 时对应的频率即光纤带宽。频域法光纤带宽测试方框图如图 1-4 所示, 具体测试步骤如下。

由扫频信号发生器输出一个幅度不变而频率连续可调的正弦电信号, 用它对光源进行强度调制, 得到幅度相同而频率变化的光正弦信号, 注入系统采用“满注入”方式, 将符合要求的信号耦合进光纤, 先将“1”“2”两点用短光纤相连, 即用短光纤的输出信号代



替被测光纤的输入信号，此信号经光电检测器变为电信号，送给频谱分析仪，得到随不同调制频率而变化的输入功率 $P_{11}(f)$ ；再将“1”“2”两点用被测光纤相连，此时从频谱分析仪中得到随不同调制频率而变化的输出功率 $P_{12}(f)$ ，将 $P_{12}(f)-P_{11}(f)$ ，得到被测光纤的幅频特性曲线，如图 1-2 所示，曲线上的-6dB 对应的频率即光纤的带宽。

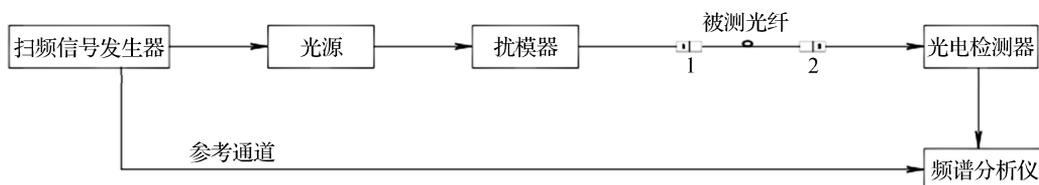


图 1-4 频域法光纤带宽测试方框图

2. 单模光纤的色散系数及测量方法

由于单模光纤中只存在频率色散，所以此时的色散与光源谱线宽度密切相关，光源谱线宽度越窄，光纤的色散越小，带宽越宽，传输的信息量越大。通常用色散系数来反映单模光纤的色散大小，色散系数 D 通常用单位波长间隔内的光波走过单位长度光纤后产生的平均时延差来表示。 D 的定义是在波长 λ 下，若经过单位长度光纤后产生的时延差为 $\tau(\lambda)$ ，则

$$D = \frac{d\tau(\lambda)}{d(\lambda)} \text{ ps / (nm} \cdot \text{km)}$$

它的单位表示光源谱线宽度为 1nm 时，经过 1km 单位长度光纤的脉冲展宽值是多少 ps。既然色散系数与光纤带宽都能描述光纤色散，那么它们的关系为

$$E = \frac{441}{D \cdot \Delta\lambda}$$

式中， E 为单位光纤带宽，单位为 GHz·km； D 为色散系数，单位为 ps/(nm·km)； $\Delta\lambda$ 为光源的谱线宽度，单位为 nm。

ITU-T 对不同的光纤色散系数和相关参数都做了规定，如下所述。

(1) 相移法。

不同波长的信号经过相同的光纤传输后，因时延不同而表现出相位移动的不同。相移法就是通过测量经同一正弦信号调制后的不同波长的光信号，经光纤传输后产生的相移差别来确定群时延与波长的关系，进而导出色散系数的一种方法。

① 测量原理。

设正弦调制信号的频率为 f (MHz)，被测光纤长度为 L (km)，输入信号的不同波长分别为 $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$ ，又记为 λ_i ($i=1, 2, \dots, n$)，为了测量方便，设一个参考光波长为 λ_f ，则对于输入不同波长的信号经过光纤传输后产生的相移差都是相对于参考波长而言的。设 λ_i 和 λ_f 经光纤传输后的时延差为 $\Delta\tau_i$ ，相移差为 $\Delta\phi_i$ ，通过测量得到 $\Delta\phi_i$ ，又因为

$$\Delta\tau_i = \frac{\Delta\phi_i \times 10^6}{2\pi f} \text{ ps}$$

所以每 km 的平均时延差为

$$\tau_i = \frac{\Delta\tau_i}{L} \text{ ps/km}$$

这样，通过测量不同波长 λ_i 下的 $\Delta\phi_i$ ，根据上式计算出一组 $\tau_i-\lambda_i$ 值，然后按不同光纤的群时延公式 $\tau(\lambda)$ 进行曲线拟合，从而求出公式中的有系数，进而求得该光纤的色散系数 D 。

② 测量装置。

图 1-5 表示出用相移法测量色散系数的一种装置，光源采用 LD 激光器，要求具有稳定的光源强度和波长；相位计用来测量参考信号与被测信号间的相移差。此装置光路部分简单，测试动态范围大；但需要多个激光器，挑选困难，价格昂贵。

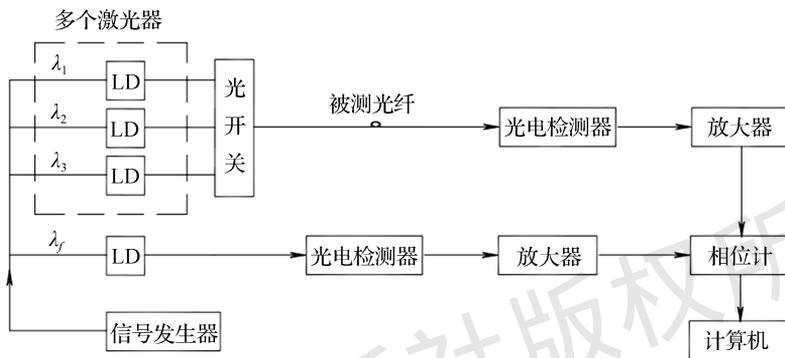


图 1-5 相移法测色散系数方框图

(2) 脉冲时延法。

脉冲时延法就是通过测量经同一窄脉冲调制后的不同波长的光信号经光纤传输后产生的时延差，然后直接按定义计算出色散系数的方法，由于信号经光纤传输后会发生脉冲展宽，所以只有用足够窄的窄脉冲调制信号，才能在接收端把两个不同波长的信号区分开。

① 测量原理。

设被测光纤长度为 $L(\text{km})$ ，输入信号的不同波长分别为 $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$ ，记为 $\lambda_i (i=1, 2, \dots, n)$ ，为了测量的需要，找一个参考光波长 λ_f ，这样，输入不同波长的信号经过光纤传输后产生的时延差都是相对于参考波长而言的。设 λ_i 和 λ_f 经光纤传输后的时延差为 $\Delta\tau_i$ ，则通过取样示波器观察到的 $\Delta\tau_i$ 如图 1-6 所示，于是，单位长度的平均时延为

$$\tau_i = \frac{\Delta\tau_i}{L} \text{ ps/km}$$

到此之后，可按与相移法一样的步骤求得色散系数。

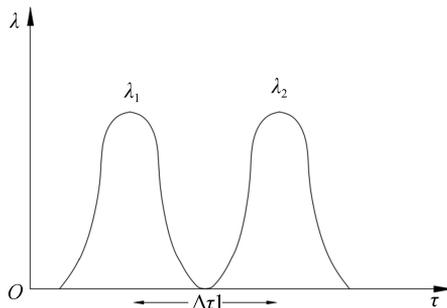


图 1-6 脉冲时延法取样示波器波形示意图



② 测量装置。

图 1-7 给出了用脉冲时延法测量色散系数的方框图，其中，光源为 LD 激光器，要求具有稳定的光源强度和波长；脉冲发生器要求能产生足够窄的窄脉冲；光电检测器要求具有足够高的响应度；取样示波器必须采用带宽极高的高速取样示波器，以观测到不同波长间的极小相对时延差。需要说明的是，脉冲发生器发出的经时延后直接送到取样示波器的脉冲是作为参考波长的脉冲信号。

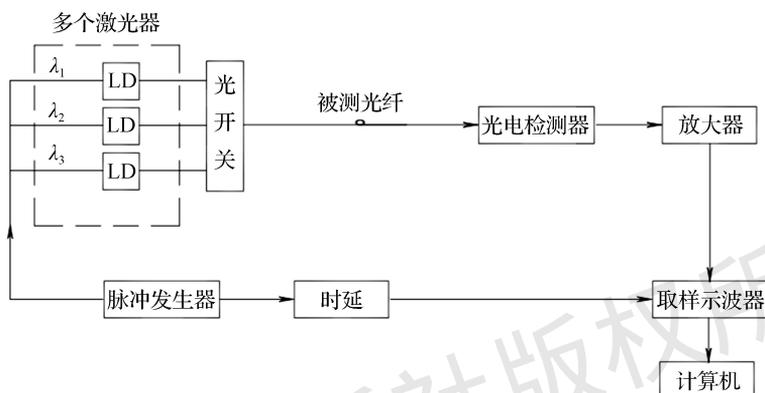


图 1-7 脉冲时延法测量色散系数的方框图

1.1.4 常用仪器仪表

要保证光缆通信工程在建设中及建成后有良好的质量，必须有配套的高质量的测试仪表。这些仪表主要有光源、光功率计、OTDR、光纤熔接机等。

1. 光纤熔接机

(1) 熔接机的工作原理。

光纤熔接机主要用于光通信中，用于光缆的施工和维护。熔接机的原理是十分复杂的，它包括机械部分、接续部分和测量部分。这里不对熔接机的原理做过多介绍，主要是将切好的两根光纤置入熔接机中，对准校对后，熔接机将光纤推向电机，高压在电极中产生电弧，把光纤（注：此光纤是指光缆中的每一根纤）融化接续成一体。熔接机主要运用于各大电信运营商、工程公司、企事业单位专网等。随着熔接技术的发展，推出了各种熔接设备（如单芯熔接机、多芯熔接机等），其熔接工艺方式也是多样的，但最基本的熔接方法是电弧熔接法。熔接机样式如图 1-8 所示。



图 1-8 熔接机样式



(2) 熔接机的使用方法。

① 开剥光缆，并将光缆固定到盘纤架上。常见的光缆有层绞式、骨架式和中心束管式，对不同的光缆要采取不同的开剥方法，剥好后要将光缆固定到盘纤架上。

② 分纤，将光纤穿过热缩套管。将不同束管、不同颜色的光纤分开，穿过热缩套管。熔接完成后，可以用热缩套管保护光纤熔接头。

③ 打开熔接机电源，根据光纤类型设置熔接参数、预放电电流及时间、主放电电流及时间等，然后进行放电检查，特别是在放置与使用环境差别较大的地方（如冬天的室内与室外），应根据当时的气压、温度、湿度等环境情况，重新设置熔接机的放电电压及放电位置，使V形槽驱动器复位。没有特殊情况，一般选择自动熔接模式进行熔接。

④ 制备光纤端面。光纤端面的好坏将直接影响接续质量，因此，在熔接前，必须首先制备合格的光纤端面。用专用的剥线工具剥去涂覆层，再用带有酒精的清洁麻布或棉花在裸纤上擦拭几次，使用精密光纤切割刀切割光纤，对于0.25mm（外涂层）光纤，切割长度为8~16mm，对于0.9mm（外涂层）光纤，切割长度只能是16mm。

⑤ 放置光纤。将光纤放在熔接机的V形槽中，小心压上光纤压板和光纤夹具，要根据光纤切割长度设置光纤在压板中的位置，并正确地放入防风罩中。

⑥ 接续光纤。按下接续键后，光纤相向移动，在移动过程中，产生一个短的放电清洁光纤表面，当光纤端面之间的间隙合适后，熔接机停止运行，设定初始间隙，熔接机会测量并显示切割角度。在初始间隙设定完成后，开始执行纤芯或包层对准操作；然后熔接机减小间隙（最后的间隙设定），高压放电产生的电弧将左边光纤熔到右边光纤中；最后微处理器计算损耗并将数值显示在显示器上。如果估算的损耗值比预期的损耗值要高，则可以再次放电，放电后会再一次计算损耗。

⑦ 移出光纤并用加热器加固光纤。打开防风罩，熔接机同时存储熔接数据，包括熔接模式、数据、估算损耗等。将光纤从熔接机上取出，再将热缩套管放在裸纤中心，放到加热器中加热，加热完毕后，从加热器中取出光纤。操作时，由于温度很高，所以不要触摸热缩套管和加热器的陶瓷部分。

⑧ 盘纤并固定。将接续好的光纤盘到光纤收容盘上，固定好光纤、收容盘、接头盒、终端盒等，光纤熔接完成。

(3) 熔接损耗的测量。

通常采用两种方式进行熔接损耗的测量，即损耗评估法和后向散射测试法。

① 损耗评估法。

损耗评估法是指利用熔接机的光纤成像技术，从两个垂直方向观察光纤，确定包层的偏移、纤芯的畸变、光纤外径的变化和其他影响熔接损耗的参数，并进行计算，得出熔接损耗。由于是通过计算得到的结果，所以通常采用损耗评估法得到的熔接损耗和真实值之间存在一定的差距。

② 后向散射测试法。

后向散射测试法是利用OTDR直接对光纤进行测试从而得出熔接损耗的方法。采用后向散射测试法可以得到准确的熔接损耗指标，根据选取的测试地点及测试手段的不同，又可以分为以下3种方法。

后向测试法：通过机房的OTDR对熔接好的光纤线路进行测试从而得出熔接损耗。由



于测试在机房进行，所以这种测试方法省略了仪表转移所需的车辆和大量的人力物力，也不需要测试时进行熔接，其测试工作本身比较便捷。这种方法的缺点是测试人员和接续人员需要进行良好的沟通，尤其当接续地点环境恶劣且通信条件差时，这个缺点尤为突出。

前向单程测试法：在光纤接续方向之前的一个接头点使用 OTDR 进行测试，采用这种方法，测试点与接续点始终只间隔一盘光缆长度的距离，测试熔接损耗准确，而且便于通信联络。该测试方法要携带 OTDR 到每个测试点进行测试，对 OTDR 的便携性和野外适应能力提出了较高的要求。

前向双程测试法：在光纤接续方向之前的一个接头点使用 OTDR 进行测试，但在接续方向的始端将两根光纤进行短接，组成回路。由于测试原理和光纤结构上的原因，对熔接点进行单向测试可能会出现虚假增益或虚假大衰减现象，而采用前向双程测试法，由于增加了环回点，所以能在 OTDR 上对熔接损耗进行双向测试，将两个方向的熔接损耗进行平均就可以得到准确的测试结果。

（4）熔接损耗过大的原因。

在实际进行光纤熔接时，经常会出现熔接损耗过大的情况。造成熔接不良的主要原因有以下几点。

① 出现痕迹。造成熔接出现痕迹的主要原因可能是熔接电流太小或熔接时间过短、电极错位、电极损耗严重等，通过更换新的电极可以解决这个问题。

② 轴心倾斜。造成轴心倾斜的主要原因可能是光纤放置偏离、光纤端面倾斜、V 形槽内有异物等。通过对光纤进行准确的放置、制作合格的光纤端面、对 V 形槽进行清洁可以解决这个问题。

③ 产生气泡。产生气泡的主要原因可能是光纤端面制作不合格、有凹凸或不清洁等。通过制作合格的光纤端面可以解决这个问题。

④ 产生缝隙或变细。产生缝隙或变细的主要原因可能是切割光纤时预留的裸纤过短而使熔接机进行熔接时推进很难到位，或者熔接电流过大。通过预留合理长度的裸纤或对熔接机的熔接电流进行调整可以解决这个问题。

⑤ 变粗。导致熔接点变粗的主要原因可能是光纤端面预留间隙过小或光纤推进过度。可以通过加大光纤端面预留距离或调整熔接机推进距离来解决这个问题。

（5）熔接机使用注意事项。

① 保持清洁。

熔接机使用完毕后，需要去除机器外壳上的灰尘，以及夹具和 V 形槽内的粉尘与光纤碎末。对精密刀具（涂敷钳、切割刀）也应进行清洁，且切割刀刀片不得用清洁物之外的物品擦碰。

② 注意防潮。

熔接机内部为电子电路和高压放电电路，当机内有潮气时，容易将内部电路烧坏。在雨雪天气进行熔接时，应在帐篷内或车中进行。熔接完毕后，应将熔接机置于通风干燥处以驱除潮气。若熔接机不慎进水，则必须使用干燥剂进行干燥处理后才能开机。

③ 防止电压不稳。

在野外需要使用发电机供电进行熔接操作时，正确的操作顺序是开机时先开发电机再开熔接机，关机时先关熔接机再关发电机。这样做的目的是避免由于发电机开关时产生的

不稳定电压对熔接机造成损坏。

④ 电极的清洗和更换。

熔接机上的电极的使用寿命为 2000~3000 次，要求每放电熔接 20 次就要进行清洗。当电极达到使用寿命时，熔接损耗明显增大，此时应及时更换电极，确保熔接质量。

⑤ 碎纤的处理。

不要随意丢弃切断光纤时产生的碎纤，以免伤人。

⑥ 其他。

在熔接过程中，要盖好防尘盖，否则在熔接机的放电过程中，电极棒发出的激光会伤害眼睛；不要在易燃易爆物旁进行熔接；对熔接机的任何部位不要添加润滑油。

2. 光源与光功率计

光源与光功率计是日常光缆线路测试中最常用的测试仪表。在日常线路维护工作中，通常将光源与光功率计配套使用，进行光缆线路衰减测试，具体连接方法如图 1-9 所示。



图 1-9 光源与光功率计配套进行光缆线路衰减测试的具体连接方法

(1) 光源与光功率计的工作原理。

如图 1-9 所示，光源的主要作用就是向光缆线路发送功率稳定的光信号；光功率计接收光信号并测量信号的功率值。由光源的发送功率减去光功率计的实际接收功率，就可以得到被测线路的总衰减，结合被测线路的实际长度，就可以判断被测线路是否存在误差过大的问题。在实际使用时，需要注意光源与光功率计参数的一致性。

(2) 常用光源的选择。

光源与光功率计作为线路维护的基本测试仪表，产品种类繁多，在实际工作中，除了对品牌、质量的要求，主要是根据维护需要，从功能和性能上认真地进行选择。

① 具有 LCD 显示的光源。

光源的显示界面一般可以分为 LED 和 LCD 两种。由于大部分光源的发射功率都不可调，所以很多光源采用 LED 显示界面，通过简单的 LED 显示界面，可以了解光源目前所处的各种工作状态。和 LED 相比，LCD 显示界面具有显示内容更加丰富、直观的优点，同时，其最重要的作用就是可以实时显示当前的实际发送功率。由于光器件的原因，任何光源的发送功率都会在其标称值附近上下浮动，即实际注入线路中的光功率值是在不断变化的，借助具有 LCD 显示界面的光源，就可以实时掌握这种功率变化，确定相应的基准，合理判断输出功率，从而为测试提供更加准确的数据。

② 发射功率可调的光源。

发射功率可调的光源通称为可变（可调）光源。这类光源的发射功率可以根据测试需



要在一定范围内进行设定。这类光源在实际使用中具有更高的灵活性，但是其成本会成倍增加，在维护过程中，可根据实际需要进行选配。

（3）光功率计。

光功率计是测量光纤输入/输出光功率的重要仪表，某些仪表还能测量光纤的衰减和反射损耗。

① 用途与分类。

光功率计是用来测量光功率大小、线路损耗、系统富裕度及接收机灵敏度等的仪表，是光纤通信系统中最基本、最主要的测量仪表。

② 原理。

光功率计一般都由显示器（又称指示器，属于主机部分）和检测器（探头）两大部分组成。图 1-10 是一种典型的数字显示式光功率计的原理框图。

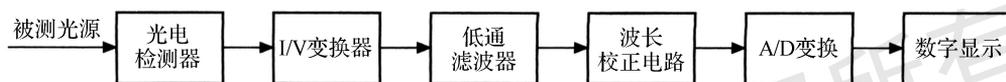


图 1-10 数字显示式光功率计的原理框图

在图 1-10 中，光电检测器在受光辐射后，产生微弱的光生电流，该电流与入射到光敏面上的光功率成正比，通过 I/V（电流/电压）变换器变成电压信号，再经过放大和数据处理，便可显示出对应的光功率值的大小。

③ 具有调制波功能的光功率计。

在对光纤线路进行衰减测试时，可以选择具有调制波功能的光源和光功率计。通过调制波功能确定被测对象是否已正确地连接到光源和光功率计上。调制波功能的基本工作原理是：由光源向光纤线路注入特定频率的调制波，如果光功率计正确接收了光源发出的调制波，则可确定光源和光功率计正确地连接到了同一条光纤的两端。

④ 能直接读出损耗的光功率计。

在实际测试时，由于光源和光功率计不在一起，所以想要分别得到光源和光功率计的读数并进行损耗值计算比较麻烦，并且有误的可能性较大，而能直接读出损耗的光功率计可以很好地解决此问题。在进行测试前，先用一根短跳纤将光源和光功率计连接起来并进行测试，由光功率计保存读数，并默认为光源的发射功率，然后在实际线路进行测试时，光功率计会自动将之前保存的读数与测试到的线路功率值做减法运算，从而直接得到线路损耗。

⑤ 可进行双向测试的光源和光功率计——光万用表。

对于光万用表，会在后面进行详细介绍。

⑥ 光功率计在 EPON（以太网无源光网络）系统中的应用。

光功率计主要用于测量光功率，在 EPON 系统的测试过程中，会用到两种形式的光功率计：一种是可测试连续光的普通光功率计；另一种是测试突发光功率的脉冲记录方式的突发光功率计，如图 1-11 所示。

a. 普通光功率计。

在使用普通光功率计进行测试前，应先用光跳线将光功率计自带光源与测量端口短连，进行自校准；如果光功率计本身不带光源，则应采用标准光源对其进行校准。



(a) 普通光功率计 (b) 两种 PON 光功率计

图 1-11 光功率计

在用光跳线与仪表进行连接时，应确保连接器类型匹配，并保证连接紧密。
在完成被测试设备与仪表连接后，应选择被测试设备光源工作波段进行光功率的测量，为了保证测量准确，应进行 3 次测量并取平均值。

b. PON 光功率计。

PON 光功率计的使用与普通光功率计的使用不同。在 EPON 系统中，只有保证 ONU（光线路终端）与 OLT（光网络单元）间的光线路是连通的，ONU 才会工作，并且 ONU 发出的光信号不是连续的，因此，为了测试 ONU 的突发光功率，就要求光功率计满足以下两个条件。

- 脉冲记录方式，实现突发光功率的记录。
- 要具有两个端口，分别连接 OLT、ONU 设备，并保证对光信号的透传。

PON 光功率计测试配置如图 1-12 所示，应保证来自 OLT 设备的光跳线与 PON 光功率计的“OLT”接口相连，来自 ONU 设备的光跳线与“ONU”（或 ONT，即光网络终端）接口相连。通常，这种 PON 光功率计可以同时测出 OLT、ONU 双向 3 个波段的光功率，使测试变得更加简单。

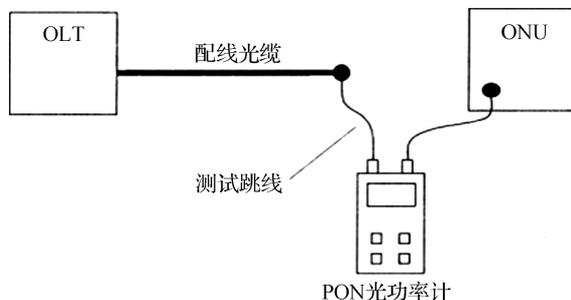


图 1-12 PON 光功率计测试配置

3. 光万用表

光万用表是将光源和光功率计的功能合二为一的仪表，即同时具有光源和光功率计的功能，并且有些光万用表还提供一些附加功能，可以提高测试效率和测试的准确性。

光万用表的测试连接方法如图 1-13 所示，这是典型的光万用表的测试连接方法。

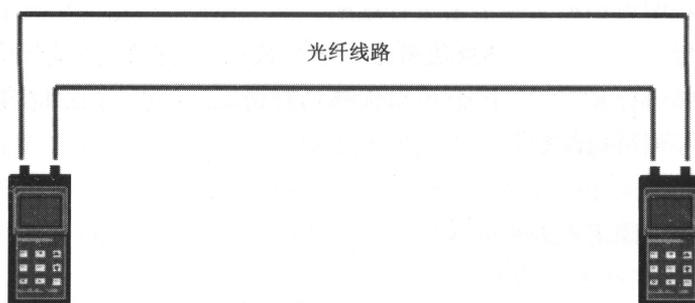


图 1-13 光万用表的测试连接方法

由于光万用表内置了光源和光功率计模块，所以在成对使用光万用表进行测试时，可以同时连接两条光纤线路进行测试，从而大大提高了测试工作的效率。目前，光万用表作为基层线路维护人员的测试工具，已经得到了广泛的应用。

4. OTDR

(1) OTDR 的工作原理。

由于光纤本身的缺陷和掺杂组分的非均匀性，使它们在光的作用下会发生散射现象，因此，当光脉冲通过光纤传输时，沿光纤长度上的各点均会引起散射（当然，如果光纤有几何缺陷或断裂面，那么也会产生菲涅尔反射），其强弱也就反映了光纤各点的衰减大小。由于散射光是向四面八方的，反射光也会形成较大的反射角，因此，这些散射光和反射光总有一部分能够进入光纤的孔径角而反向传输到输入端。

同时，如果传输通道安全中断，则从此点以后的背向散射光功率也降到零。因此，可以根据反向传输回来的反射光和散射光的情况判断光纤断点的位置与光纤长度，总之，只要能够设法将反向传至输入端的背向散射和菲涅尔反射光收集并进行适当的处理，就可以测出这段光纤沿线各点的衰减情况，以及断点位置和光纤的长度。OTDR 的工作原理图如图 1-14 所示。

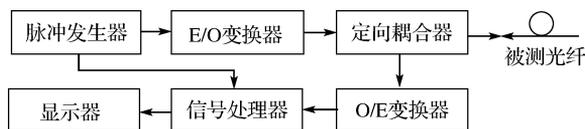


图 1-14 OTDR 的工作原理图

脉冲发生器激励 E/O 变换器中的激光二极管，使之产生光脉冲，经定向耦合器注入被测光纤中，而光纤中沿线各点产生的背向散射光将依次返回注入端，经定向耦合器到 O/E 变换器，使其成为电脉冲。但由于接收到的背向散射信号非常微弱，常常被噪声淹没，所以光脉冲必须以一定的脉冲间隔注入光纤，进行重复测量，并借助信号处理器进行平均化处理来改善信噪比，只有这样，才能在显示器上获得清晰的相对散射功率分布曲线，如图 1-15 所示，曲线的横坐标是以对反射时间间隔进行换算而得到的光纤长度来刻度的，而纵坐标则因检测信号在处理器中经对数放大处理而可直接用电平值来刻度。

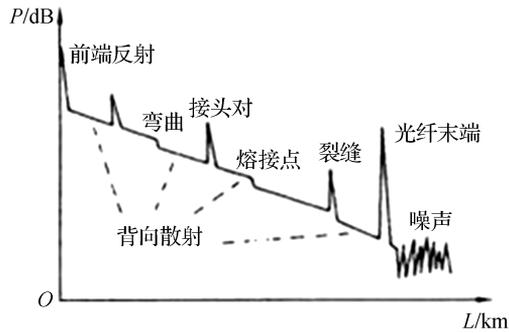


图 1-15 相对散射功率分布曲线

图 1-15 中的曲线由直线段、反射峰（尖峰）及两段直线间的台阶组成。其中，直线段代表连续的光纤，因为这里只看到背向散射信号，并且随着光纤长度的增加信号功率变得越来越小，所以直线的斜率代表光纤的衰减系数（dB/km）。而曲线上的一个台阶则代表功率的瞬时变化，通常表明了光纤熔接点或弯曲处没有反射事件出现的条件下引起的损耗。曲线上的尖峰代表了光纤中的反射点，它们是由各类不良接续或断裂引起的，尽管其反射量仅有入射能量的百分之几，但仍比背向散射信号大得多，从而形成尖峰。由此可见，通过对相对散射功率分布曲线进行观测和运算，可以测量光纤的各类损耗及其分布特性，并能推算光纤长度和障碍点的位置。

OTDR 的主要工作特性包括动态范围、盲区和分辨率等。其中，动态范围是指背向散射曲线上起点电平与噪声电平之差，决定了 OTDR 能测量的最远距离，并在一定程度上决定着测量精度；而盲区则是指从反射峰起点到它几乎回归到背向散射电平处的距离，直接影响 OTDR 对两个反射点的分辨及反射峰附近损耗参数的测量；动态范围和盲区这两个参数都与发送光脉冲的宽度与接收机的性能有关，因为背向散射信号电平与入射能量成正比，所以增大脉冲宽度可以提高发射功率，使背向散射信号电平高于噪声电平，从而扩大动态范围，延长测试距离。但由于反射峰的宽度也与脉冲宽度成正比，故脉冲宽度的增大也意味着盲区的扩展。另外，灵敏度高的接收机可以检测出电平很低的反射信号，有利于扩大动态范围，但因其反应速度很慢，所以经历一个事件后，曲线的恢复需要更长的时间，这又将导致盲区的扩大。同时，OTDR 的高增益接收也将会在出现菲涅尔反射时不可能使放大器饱和而产生非线性失真，从而影响测量准确度。为此，OTDR 中还采用了掩蔽电路，作用是对强反射信号实施阻断以确保弱信号的接收。由此可见，扩大动态范围与减小盲区两者对脉冲宽度和接收灵敏度的要求是相互矛盾的。测试时要兼顾测量距离和分辨率，合理地选择脉冲宽度，以满足不同测试的要求。由前面 OTDR 的工作方式可知，为通过平均化处理以确保背向散射信号的稳定显示，测试时应采用周期性测试脉冲，使其重复频率与最大测量长度相适应，以避免“鬼影”的出现。现代 OTDR 大都是装有微处理器的智能化仪器，内置数字信号处理单元，可以借助 A/D、D/A 变换对检测信号进行数字化平均处理和对数运算，而数字化显示方式的采用，要求必须合理地选择取样间隔和测量点数，以满足一定的分辨率。

以上对 OTDR 的散射机理进行了定性的描述。同时较为详尽地描述了 OTDR 的具体工作原理，以及 OTDR 在进行实际测量时的几个特性参数的作用，通过这些描述，对 OTDR 背向散射测试法已经有了比较初步的认识，但是这点认识并不能保证我们能对高级别的光



缆干线线路工程，以及光缆线路故障和日常维护进行准确的测量。下面将结合具体的施工情况逐一描述重要的物理概念和特性参数。

了解 OTDR 的操作，合理地设置其参数是达到精确测试光纤的前提，在实际的测试工作中一定要引起重视。

（2）OTDR 的操作使用。

OTDR 一般具备自动测试和手动测试两种模式。对于一般精度要求不高的测试，操作者只需选择波长，用 OTDR 的自动测试模式即可满足要求，操作也很方便。但在超短距离和超长距离的测试中，自动测试对事件点的判断和定位未必准确，可能会出现误判、漏判的现象。有时同样一根光纤，先后多次自动测试的结果可能不一致，在这些情况下，最好采用手动测试模式。

手动测试模式要求操作者根据被测光纤的距离选择合适的测试参数，如工作波长、脉冲宽度、测量范围、获取时间等，测试参数选择的恰当与否直接影响测试结果的精确度。

① 工作波长。

光系统的行为与传输波长直接相关，不同的波长有各自不同的光纤衰减特性及光纤连接中不同的行为。对于同种光纤，1550nm 比 1310nm 对弯曲更敏感、1550nm 比 1310nm 的单位长度衰减更小、1310nm 比 1550nm 测得熔接或连接器的损耗更大。为此，光纤测试应与系统传输的波长相同，这意味着 1550nm 光系统需要选择 1550nm 的波长。

② 脉冲宽度。

脉冲宽度的选择取决于被测光纤的长度，当需要测试长距离的光纤时，应尽量选用较大的脉冲宽度；而若要测试短距离光纤，则最好选择较小的脉冲宽度，由于脉冲宽度的大小决定了空间分辨率且长脉冲也将在 OTDR 曲线波形中产生更大的盲区，所以测试时，在曲线信噪比许可的情况下，应尽量选择小的脉冲宽度，这样会得到事件点更准确的结果。脉宽周期通常以 ns 来表示。

③ 测量范围。

OTDR 测量范围是指 OTDR 获取数据取样的最大距离，此参数的选择决定了取样分辨率的大小。测量范围通常设置为待测光纤长度的 1.5~2 倍，以防止光纤末端二次反射的影响。

④ 获取时间。

由于后向散射光信号极其微弱（大约每米 100 光子），所以一般采用统计平均的方法来提高信噪比，获取时间越长，信噪比越高。平均时间（或平均次数）的设置应视具体情况灵活掌握，一般来讲，平均处理一定次数（如 300 次或 3min）后，效果不再明显。

（3）OTDR 常见测试曲线。

① 正常测试曲线。

OTDR 常见正常测试曲线如图 1-16 所示，其中，A 为盲区，B 为测试末端反射峰。测试曲线是倾斜的，随着距离的增长，总损耗会越来越大。用总损耗（dB）除以总距离（km）就是该段纤芯的平均损耗（dB/km）。

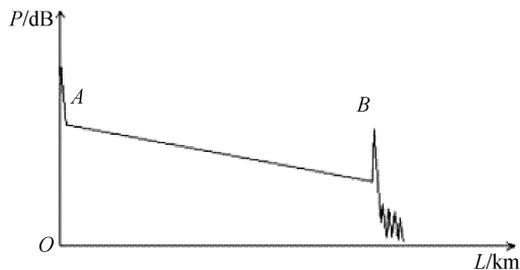


图 1-16 OTDR 常见正常测试曲线

② 光纤存在跳接点。

在测试曲线中间多了一个反射峰，出现这种情况，凭以往经验判断，很有可能是中间有一个用尾纤连接起来的跳接点，当然也会有例外的情况。总之，能够出现反射峰，很多情况下是因为末端的光纤端面是平整光滑的，端面越平整，反射峰越高。

③ 异常情况。

光纤插接件、连接器件不清洁，物理连接性能不良都可能引起较大的测试误差，这在日常测试中经常碰到，它可以使曲线上产生严重的噪声和毛刺，甚至曲线不能测出；再有就是断点位置比较近，所使用的距离、脉冲宽度又比较大，看起来就像光没有打出去一样，在出现这种情况时，首先看看 OTDR 的设置，把距离、脉冲宽度调小一点；其次要检查尾纤连接情况及连接器件是否清洁，如果还是这种情况的话，则可以判断尾纤有问题或 OTDR 上的适配器问题，还有可能是断点十分近，OTDR 不足以测试出距离来。如果是尾纤问题，则只要换一根尾纤即可；否则应试着擦洗适配器，或者就近查看纤芯。

(4) OTDR 的选择。

OTDR 一般分为台式、便携式和手持式，如图 1-17 所示，台式 OTDR 的体积较大，测试精度高，价格相对比较昂贵，适用于机房及实验室使用；便携式 OTDR 的体积相对较小，便于携带，并且具有比较丰富的外设接口，适合于施工、验收、线路维护等野外及机房测试；手持式 OTDR 的体积小，便于携带和操作，其功能主要面向光缆线路维护人员，是一种针对性比较强的维护测试仪表。



台式 OTDR



便携式 OTDR



手持式 OTDR

图 1-17 OTDR 的类型

5. 光缆路由探测仪

(1) 光缆路由探测仪的工作原理。

光电缆路由探测仪是以电磁感应原理为基础、以跨步电压理论为依据，结合数字滤波、



无线接收、软件控制等技术而设计的产品。

电磁感应的 basic 工作原理是：由发射机产生电磁波并通过不同的发射连接方式将发送信号传送到地下被探测金属管线上，地下金属管线感应到电磁波后，在其表面产生感应电流，感应电流就会沿着金属管线向远处传播，在电流的传播过程中，又会通过该地下金属管线向地面辐射出电磁波。这样，当光缆路由探测器接收机在地面探测时，就会在地下金属管线正上方的地面接收到电磁波信号，通过接收到的信号强弱变化就能判别地下金属管线的位置和走向。

电磁感应原理实现的条件：首先，要有能发出足够电能的信号源，在具备传输电能的线路中形成电流，电流在流动过程中又在该线周围产生磁场；其次，要有能接收这一特定磁场的电路，把磁场的变化过程以电信号形式显示出来。这个由电变磁再由磁变电的过程就是光缆路由探测仪的基本原理。

跨步电压理论成立的条件：首先，要保证线路中的电能有流向大地的点（漏电点），这样，在此点周围就会形成电场，它以漏电点为中心，以电势的形式均匀递减向外扩散，同一圆周电势相等；其次，要有能检测电势差的电路，测出等电势圆周，圆心即漏电点（电缆故障点）。这就是光缆路由探测器跨步电压定点的理论根据。

（2）光缆路由探测仪的使用方法。

① 地线接线法。

在使用光缆路由探测仪时，应注意输出地线沿线缆垂直方向尽量拉到远处，寻找一处比较方便的地面且接地电阻较小的位置插入地钎，若地面过硬，则可泼些水或压上重物，这样可以使放音信号在光缆与大地间构成一个较好的回路，同时缩小“盲区”的范围。

② 放音线接法。

放音线接法也称监测尾缆芯线选择法，需要将放音线接至相应光缆的外护套或加强芯对应的监测尾缆芯线上。不能为图方便而将放音线与监测尾缆的数根芯线同时连接，这样会大大减弱所测方向光缆上的信号（若反方向对地绝缘不好，则减弱现象会更明显），缩短了能测到的距离。

③ 频率选择：一般采用低频，可以减小外界电流的干扰，但相对传送距离较近（2km 左右）时，若需要连测几个接头段，则应调至较高频率，而且发送机、接收机的频率要同时调整，使其在同一频率下工作。

④ 输出功率选择：其大小根据探测距离而定，一般在 2km 盘长光缆段内探测时，只需调至中间功率即可，距离加长，功率适当调大，以便能在远端接收到信号。

⑤ 接收灵敏度调整：接收机接收到的信号会随着接收机与发送机距离的远近、光缆埋深的深浅而改变，要及时调整接收机灵敏度，以保证接收信号的输出质量。

⑥ 确认过程：在开始探测之前，一定要先确认各种状态是否正常。若信号已在光缆与大地之间产生回路，则发送机会连续发出“嘀嘀嘀”音（音量可调），然后将接收机调到峰点接收，拿到待测光路由（离发送机不宜太近）上，判断放音线所接监测尾缆芯线是否正确，若接收机未接收到信号，则重新调整放音线所接的监测尾缆芯线，直至接收机接收到正常信号。

⑦ 初始寻找线缆位置：在平常工作时，有时会发生很长时间寻找不到线缆的位置的



情况，在仪表正常时可能存在以下两种错误：监测尾缆芯线接错方向（工程施工时接续错误），此时应把输出线调换与监测尾缆芯线的连接；地线输出线较短，发射机就在监测标石旁边且发射机输出功率较大、接收机增益较大，在接收机附近探测感觉到到处都是线的位置，此时应在距发射机 3m 以外探测。

⑧ 探测位置的准确度的掌握：在探测路由时，根据探头的转角不同，有两种测试方法：一种为峰值法，即探头与探杆成 90° 且平行于地面，并与缆线走向垂直进行探测，当接收信号最强（表头指针指示最大、声音增强）时，此处就是光缆的位置；另一种为空值法，即探头与探杆平行且垂直于地面，当在缆线正上方时，接收信号最弱（表头指针指示最小，声音最弱，即哑点）。

以上两种方法应注意的是探头与探杆的角度一定要准确。在探测时还应注意拐弯点，为了提高拐弯点的位置定位的准确度，应对拐弯点附近（最好在 1m 范围内）两边的缆线仔细进行探测，多定几个位置点，连点成线而构成夹角，夹角处就是拐弯处，且线位置一般在夹角点处内侧 5cm 范围内，并根据峰值法和空值法进行判断，此时光缆路由探测仪的摆动应在角的平分线上并以缓慢的速度接近拐弯点。

⑨ 光缆埋深的探测：在确定线路路由后，把探头转成与探杆成 45° 的位置，探头筒轴线端贴近地而垂直对准缆线的走向，左右水平移动，当接收到的信号第一次出现空值时，记下该点的位置，该点与缆线的直线距离即埋深。由于探测埋深的准确度会受土壤条件、相邻线缆金属材料的影响，因此，在探测时，最好在线缆两边定点，再采取平均方法取值，这样测得的结果更贴近实际深度值。当缆线旁边地面高于缆线地面位置时，应根据旁边的地面高度使探头高出地面水平进行探测，探测完成后，所量的距离应减去探头与缆线地面间的距离；当缆线旁边地面低于缆线地面位置时，探头在缆线地面位置水平进行探测，所量的距离即缆线深度。

1.2 光缆接续

1.2.1 光缆接续的内容、步骤及方法

光缆接续的内容包括光纤接续、金属护层和加强芯的处理、接头护套的密封及监测线的安装。光缆接续的一般要求为：光纤接续前应核对光缆端别、光纤线序，并对端别光纤线序做识别标志。固定接头光纤接续应采用熔接法，活动接头光纤接续应采用成品光纤连接器。

光纤固定接续是光缆线路施工中较常见的一种方法，其接续方法有熔接法和非熔接法两种。目前，光纤固定接续大都采用熔接法，这种方法的优点是光纤的连接损耗低、安全可靠、受外界影响小，最大的缺点是需要价格昂贵的熔接设备。接续操作过程一般分为剥除光纤涂覆层、光纤端面处理、光纤熔接、光纤接头保护、余纤的盘留等。

1. 光缆接续各步骤的具体操作方法

(1) 剥除光纤涂覆层。

利用涂覆剥除器（MLER 钳）剥除光纤涂覆层 30~40mm，然后用浸有无水酒精的清



洁纸或纱布擦拭光纤表面，直至擦得发出“吱吱”的响声。在剥除中应注意用力要适中、均匀，用力过大会损伤纤芯或切断光纤，用力小了光纤护层剥不下来。

(2) 光纤端面处理。

光纤端面处理是光纤接续处理技术的关键，端面的好坏直接影响接续的质量。光纤切割是利用石英玻璃的脆性来达到光纤切断面的光滑、无毛刺的。如果操作不当，则会出现光纤断面倾斜、有缺口、有毛刺或纤芯损伤等现象，造成接续不良。纤芯切断长度根据熔接机的限制或热缩套管的长度确定，一般为 $(16 \pm 0.5)\text{mm}$ 。

(3) 光纤熔接。

将制作好端面的光纤放置在熔接机的 V 形槽中，按下熔接机的“SET”键，即可完成整个熔接过程（其中包括调间隔、调焦、清灰、端面检查、对纤芯、熔接、检查及推定损耗等动作），在操作过程中，应避免断面与任何地方接触，保持纤芯干净。

(4) 光纤接头保护。

光纤接头保护主要是为了增加接头处的抗拉、抗弯曲的强度。将套有热缩套管的纤芯轻轻地移到熔接部位（熔接之前，将保护管预先放入光纤的某一端），熔接部位一定要在保护管的中心，并将保护管放入熔接机的加热器中，用左侧光纤轻轻下压，使左侧光纤钳合上；再轻轻地压下右侧光纤，使右侧光纤钳合上，然后关闭加热器盖；按下“HEAT”键，面板上的红灯亮，此时加热器开始加热，直至保护套管端部完全收缩。同时应注意确保光纤被覆部位的清洁，保持光纤笔直，不要扭曲光纤熔接部位。如果收缩不均匀，则可延长加热时间；如果加热时产生气泡，则可降低加热温度。

(5) 余纤的盘留。

为了保证光纤的接续质量和有利于今后接头的维修，光纤都要在接头的两边留有一定长度的余纤，一般用于盘纤，接续的余纤长度应大于 1m。不同的光缆接续盒有不同的处理方法，大致的方法都是将余纤盘绕在接续盒的托盘上，尽量盘大圈，一般其弯曲半径应不小于 3.5cm。

2. 整个光缆接续的过程

光缆接续一般是指光缆护套的接续和光纤的接续。在接续前，一般应检查光纤芯数、结构程式等是否一致。

(1) 专用光缆开剥工具。

① 常规光纤工具箱。

常规光纤工具箱包含双口光纤剥线钳、钢丝剪断钳、斜口钳、尖嘴钳、老虎钳、十字螺丝刀、一字螺丝刀、光缆横向开缆刀、酒精泵、剪刀、卷尺、美工刀、内六角螺丝刀、皮老虎、记号笔、活动扳手、试电笔、松套管开剥刀、紧套管剥除钳。

② 纵向开缆刀。

纵向开缆刀刀片采用超合金特制而成，刀口锋利，开剥外径有 4 种规格，适用于室外光缆割接时束管的纵向开剥；开中心束管的外径有 4 种选择，所开束管为上下双面开口，易于抽纤。

(2) 光缆开剥。

光缆有室内和室外之分，室内光缆借助工具很容易开剥；而由于室外光缆内部有钢丝

接线，所以给光缆开剥增加了一定的难度，这里主要介绍室外光缆开剥的方法。

光缆开剥的主要方法如下。

① 方法一。

第一步：光缆开剥前，首先清洁光缆外皮大约 2m，要剪掉光缆端头 0.5m，以保证在光缆接续时有一个良好的开端；然后用光缆环切刀开剥外部的聚乙烯外护套。一般光缆开剥长度为 1.2~1.5m，边旋转松套管开剥刀边进刀，此时一定要把握好环切刀的深度和力度，不要损伤光纤套管。

第二步：在光缆开口处找到光缆内部的两根钢丝，用斜口钳剥开光缆外皮，用力向侧面拉出一小截钢丝。

第三步：拉出钢丝，一只手握紧光缆，另一只手用斜口钳夹紧钢丝，向身体内侧旋转地拉出钢丝，然后用同样的方法拉出另外一根钢丝。

第四步：用束管钳将任意一根旋转钢丝剪断，留一根以备在光纤配线盒内固定。当两根钢丝被拉出后，外部聚乙烯外护套就被拉开了，用手剥开保护套，然后用斜口钳剪掉拉开的聚乙烯外护套，再用紧套管剥除钳将钢塑复合带剪剥后抽出。

第五步：继续松套管，用紧套管剥除钳将松套管剪剥开，并将其抽出，由于这层松套管内部有油状的填充物，故应用棉球擦干。至此，光缆开剥完成。

② 方法二。

第一步：同方法一的第一步。

第二步：使用光缆纵向开缆刀，根据光缆的类型、缆径调节刀片的高低，查看好刀片方向，将光缆放入调整好的刀具中，用刀具夹住光缆，用双手握紧工具手柄并用力向光缆头端拉出，即可纵向剥开光缆。

③ 方法三。

第一步：光缆开剥前，首先清洁光缆外皮大约 2m，要剪掉光缆端头 0.5m，以保证在光缆接续时有一个良好的开端，在聚乙烯外护套的适当位置用美工刀沿光缆横截面方向开剥（环切），此时把握好美工刀的切割深度和力度，这个过程可以感觉出切到钢丝位置还是钢塑复合带（钢丝位置浅一点，钢塑复合带位置深一点）。

第二步：通过第一步可找出钢丝位置，用美工刀从第一步的环切口且在钢丝同侧下刀，深度刚好到钢丝位置，沿着钢丝一直切到光缆头端，此时这条钢丝就会部分裸露出来。在另一条钢丝一侧用同样的方法切割，同样会使这一侧的钢丝裸露出来。

第三步：用斜口钳在光缆头端找出钢丝头，一拉就可以轻松地把钢丝剥出外护套，两条钢丝都要拉出到环切口过一点的位置。

第四步：双手分别放在环切口两端，稍微用力向四周轻折，重复多次，钢塑复合带会从中断开，将钢塑复合带连带外护套轻轻抽出，露出松套管。

第五步：用紧套管剥除钳将松套管剪开，并将其抽出，由于这层松套管内部有油状的填充物，故应用棉球擦干。至此，光缆开剥完成。

光缆开剥方法分析。

方法一：最普通、最标准的做法，对施工者的工作经验要求不高，是在高职、高专教学中常用的开剥方法。这种方法的缺点是耗时较多，使用的工具比较多。在实际应用中，光纤熔接工作人员一般不采用此方法。



方法二：光缆的纵向开剥主要看施工者的技术和经验，这种方法主要用于维修施工。例如，光缆某段的部分纤芯断，用纵向开剥来开天窗进行维修非常有效快捷。

方法三：是在这么多年的实践中结合其他光纤熔接工作人员的一些手法总结出来的非常实用的方法，工具简单、方法有效快捷。经过实践验证，该方法比方法一和方法二都要快，而且成功率非常高。

1.2.2 光缆的分歧接续

目前，为了使主干光缆与城区网络连接都能构成网络，在主干光缆上都会给各用户单位留有分支点，各引接任务已基本完成，其引接接续过程与光缆接续过程大致相同，但在分支引接前应注意以下几个问题。

一是被分支的光纤应与机房资料一致，作业前应做到心中有数；二是打开接头盒后应与机房取得联系，确认被引接的光纤后，方可作业，并做好登记；三是在作业时应保持其他光纤不动，同时应做好相应的保护；四是在原接头盒的基础上作业，动作不能过大，以免造成其他线路中断。

光纤接续时，现场应采取 OTDR 监测光纤连接质量，并及时做好光纤连接损耗和光纤长度记录。光纤连接损耗应达到设计规定值。直埋光缆接续前后应测量光缆金属护层的对地绝缘电阻，以确认单盘光缆的外护层完好和接头盒安装密封良好；光缆加强芯在接头盒内必须固定牢固，金属构件在接头处一般应电气断开。预留在接头盒内的光纤应保证足够的盘绕曲率半径，盘绕曲率半径应 $\geq 30\text{mm}$ ，并无挤压、松动现象。带状光缆的光纤带不得有“S”弯。

1.2.3 光缆接头盒安装和封装方法

1. 光纤准备

(1) 去除光缆外皮（如果有，则请去除屏蔽及铠装），然后去除各绕包层至露出松套管。具体方法请按光缆厂家推荐的标准方法步骤进行，预备长度 3m。

(2) 用清洁剂清洁松套管及加强芯护套，去除多余的填充套管，用所提供的砂纸打磨光缆外皮 150mm。

2. 光缆安装

(1) 按光缆外径选取最小内径的密封环，并将两个密封环套在光缆上。

(2) 将光缆放入相应的入孔内。

(3) 连接屏蔽及接地。

(4) 在两个密封环之间缠绕上自黏密封胶带，使密封胶带绕到与密封环外径平齐，以形成一个光缆密封端。

(5) 将光缆密封端按入光缆入孔内。

(6) 用喉箍穿过光缆加强筋固定座和缆芯支架，将光缆固定在接头盒底座上，旋紧喉箍螺钉，直至喉箍抽紧。

(7) 在光缆上扎上尼龙扎带，剪断余长。



(8) 对于其余不用的光缆孔，请用堵头密封。堵头上同样缠绕上密封胶带。

(9) 将加强构件缠绕在熔接盘支座的沉头螺钉上并压紧。

3. 光纤接续

(1) 预备上盘后盘绕 1.5 圈的光纤，随后将余纤全部盘绕在盒体内。

(2) 单芯光纤上盘请用单芯缓冲管，带状光纤上盘请用带状缓冲管。在熔接盘的进口处用尼龙扎带扎紧。

(3) 按规定方法对接两根（带）光纤，将接头卡入熔接单元卡槽中，余长请在盘内盘绕。

(4) 将熔接盘盖上，使其卡到位。

(5) 根据接头盒需要的容量不同决定熔接盘叠加的盘数，其叠加形式便于今后熔接单元的检查和维护。熔接盘每两只一叠加，可以将橡胶折页上的 6 个孔分别卡住上下两个盘上的各 3 个凸扭；对于 4 只橡胶折页，盘两边对称位置各两只。例如，叠加 5 个熔接盘，依照上述方法，将二层盘与三层盘扣住，三层盘和四层盘扣住，四层盘和五层盘扣住，依次类推，5 个盘就稳定地叠加在一起了。当需要查看或维护某一层盘的熔接情况时，只要将该盘单面的上层扣住的两只橡胶折页拆下，熔接盘即可如翻书页一样被打开。

4. 箱体密封

(1) 箱体封装：在箱体封装前，先将气门嘴与接地螺钉并紧。将密封条嵌入箱体四周的密封槽内；在接头盒两端的“U”槽处也分别用密封条嵌入槽内。注意：在使用密封条时，切勿人为拉动密封条，以免泄漏。

(2) 将接头盒上盖轻轻合上，旋入紧固螺栓，紧固顺序按盖上标明的数字顺序旋紧，用力矩扳手紧固，力矩达到 $25\text{N}\cdot\text{m}$ 。

(3) 等待 5min，再用力矩扳手顺序旋紧，力矩仍达到 $25\text{N}\cdot\text{m}$ 。

5. 盒盖拆卸

(1) 按顺序松开 10 只紧固螺栓，此时盖和座仍在一起。

(2) 取 4 只紧固螺栓，分别插入箱体四角，对称、均匀地旋入四角顶盖，使盖和座分离高达 6mm。

(3) 等待 5min 再均匀顶盖，使盖和座分离 $>6\text{mm}$ ，直至可轻易地用手分离盖和座。注意：分离时必须轻轻地移开盖，以免熔接光纤受损。

(4) 如果增容或检查结束，则需要重新合盖，必须清除旧的密封条，重新敷设密封条到密封槽，包括“U”槽电缆入口端处的密封。

6. 光缆接头护套的密封处理

光缆接头护套的密封处理是接头护套封装的关键。不同结构的连接护套的密封方式也不同。在具体操作过程中，应按照接头护套的规定方法，严格按操作步骤和要领进行。对于光缆密封部位，均应做清洁和打磨处理，以提高光缆与防水密封胶带间可靠的密封性能。注意：打磨砂纸不宜太粗，打磨方向应沿与光缆垂直方向旋转打磨，不宜沿与光缆平行方向打磨。



光缆接头护套封装完成后，应做密封检查和光电特性的复测，以确认光缆接续良好。至此，接续完成。

7. 光缆接头的安装固定

(1) 埋式光缆。

埋式光缆的接头坑应位于路由前进方向的右侧，个别因地形限制而位于路由前进方向左侧时，应在路由竣工图上标明。直埋光缆接头坑示意图如图 1-18 所示，光缆接头的埋深应符合该位置埋式光缆的埋深标准，坑底应铺 10cm 厚的细土，接头护套上方应加盖水泥盖板保护，如图 1-19 所示。

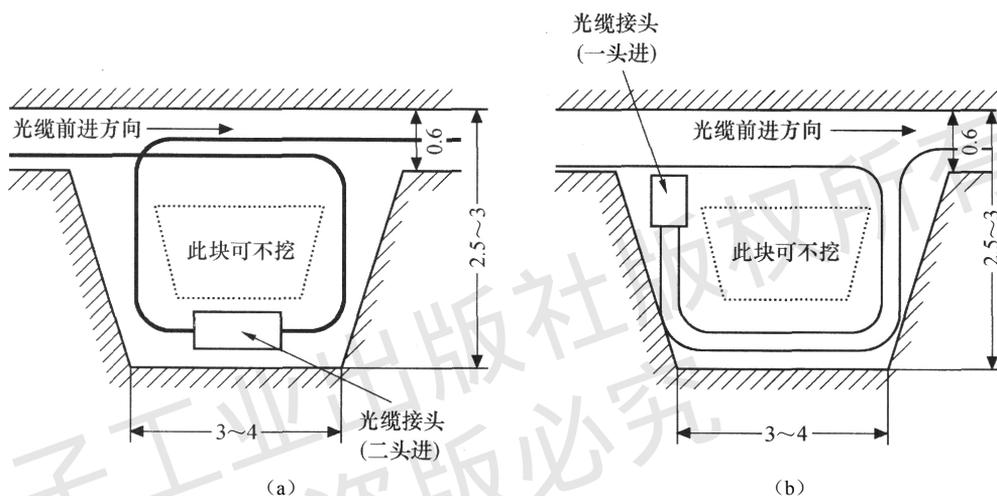


图 1-18 直埋光缆接头坑示意图（单位：m）

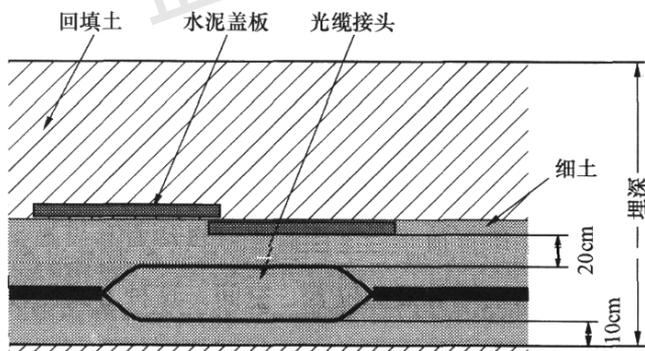


图 1-19 直埋光缆接头安装示意图

(2) 架空光缆。

架空光缆的接头一般安装在杆旁，并应做伸缩弯，如图 1-20 所示。接头的余留长度应妥善地盘放在相邻杆上，可以采用塑料带绕包或用盛缆盒（箱）安装，如图 1-21 所示。图 1-22 是适合于南方、接头位置不做伸缩弯的一种安装方式，对于气候变化不剧烈的中负荷区，这种安装方式应在邻杆上做伸缩弯。

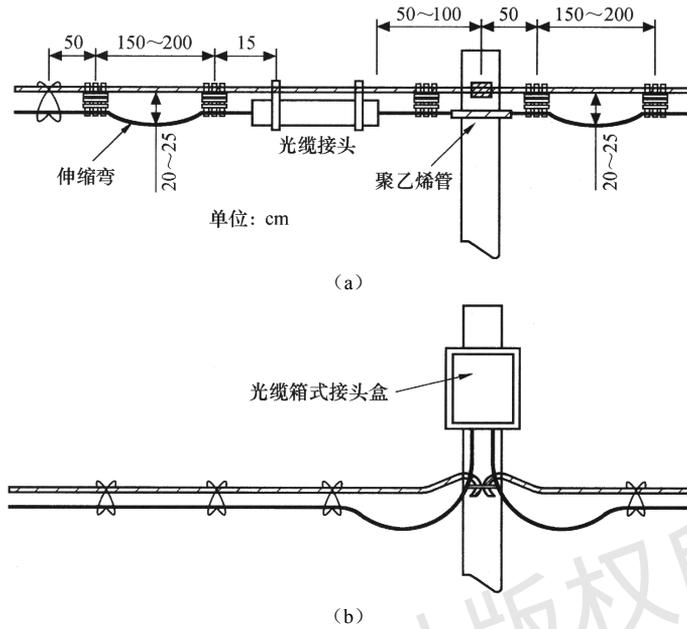


图 1-20 架空光缆接头安装示意图

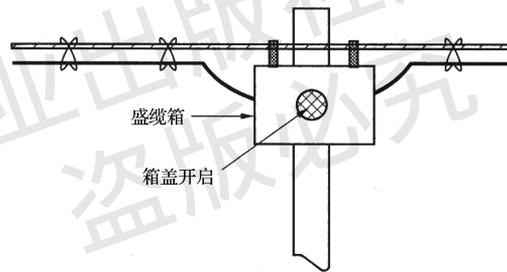


图 1-21 架空余留盛缆箱安装示意图

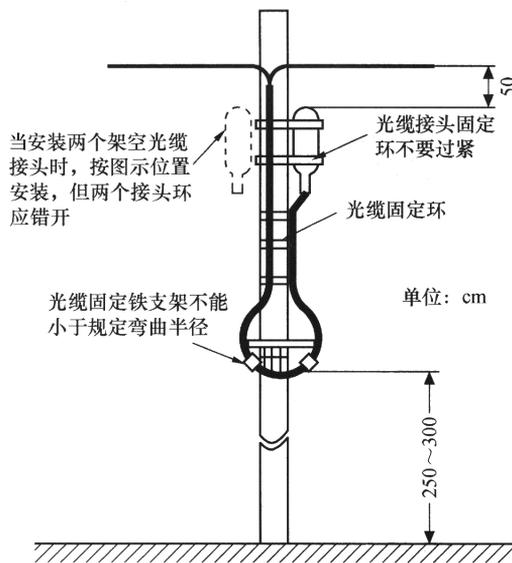


图 1-22 架空光缆接头及余留光缆安装图



(3) 管道光缆。

管道人孔内的光缆接头及余留光缆的安装方式应根据光缆接头护套的不同和人孔内光（电）缆占用情况进行安装。具体要求如下。

- ① 尽量安装在人孔内较高位置，减少雨季时人孔积水浸泡。
- ② 安装时应注意尽量不影响其他线路接头的放置和光（电）缆走向。
- ③ 光缆应有明显标志，当两根光缆走向不明显时，应做方向标记。
- ④ 按设计要求方式对人孔内光缆进行保护。

⑤ 当采用接头护套为一头进缆时，可按图 1-23 所示的方式安装；当两头进缆时，可按与图 1-24 所示的相类似的方式，把余留光缆盘成圈后，固定于接头的两侧。

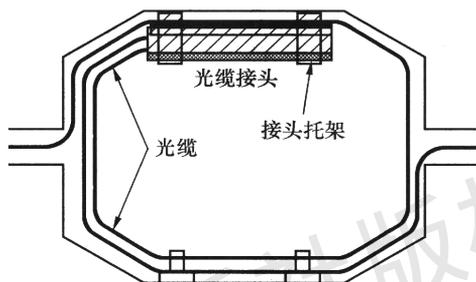


图 1-23 管道人孔接头护套安装图

⑥ 当采用箱式接头盒时，一般固定于人孔内壁上，余留光缆可按图 1-24 所示的两种方式进行安装和固定。

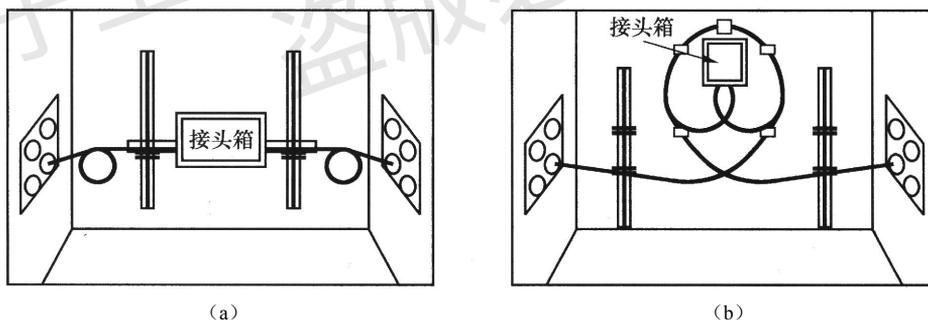


图 1-24 箱式接头盒

1.2.4 光缆成端

当光缆线路到达局端、中继站时，需要与光端机或中继器相连接，这种连接称为光缆成端，一般指的是光缆到局端后熔接上尾纤以便与光端机等设备相连接。

光缆成端的方式主要有终端盒成端方式、ODF 架成端方式。

1. 光缆成端的技术要求

- (1) 光缆进入机房前应留足够的长度（一般不少于 12m）。
- (2) 当采用终端盒成端方式时，终端盒应固定在安全、稳定的地方。
- (3) 成端接续要进行监测，接续损耗要在规定值之内。

(4) 当采用 ODF 架成端方式时, 光缆的金属护套、加强芯等金属构件要安装牢固, 光缆的所有金属构件要做终结处理, 并与机房保护地线连接。

(5) 从终端盒或 ODF 架内引出的尾纤要插入机架的适配器(法兰盘)内, 空余备用尾纤的连接器要带上塑料帽, 防止落上灰尘。

(6) 光缆成端后, 必须对尾纤进行编号, 同一中继段两端机房的编号必须一致。无论施工还是维护, 光纤编号不宜经常更改。尾纤编号和光缆色谱对照表应贴在 ODF 架的柜门或面板内侧。

2. 光缆成端的操作步骤

(1) 将金属加强芯与光缆终端盒上的接地端子紧固连接, 使光缆金属件良好接地, 避免雷击。

(2) 将光纤套管用塑料扎带在光缆终端盒内绑扎整齐, 每个套管对应一个熔纤盘。

(3) 将光纤套管开剥一定的长度, 将光纤与尾纤进行熔接, 然后将尾纤和光纤在熔纤盘内盘放整齐。

(4) 将光缆吊牌固定在光缆上面, 对光缆进行标识。

(5) 将光纤各纤芯对应的开放路由填入光缆终端盒的资料标签上, 以便维护查找。

1.3 光缆线路障碍

光缆线路障碍主要是指由于某种原因造成光缆内的部分或全部纤芯损耗升高或阻断, 从而导致该条光缆传输的部分或全部光系统严重误码或完全中断的情况, 如光纤接头处损耗升高、光纤自然断裂、外力作用造成光缆损坏、光纤过度弯曲等都会使光系统传输严重误码或中断。

1.3.1 光缆线路障碍种类及定位

光缆线路障碍处理前需要对障碍进行定位, 掌握光缆线路障碍的定位方法及修复技术, 并且, 具有快速应变能力也是对光缆线路维护工作人员的基本要求。

(1) 光缆线路障碍按对光纤的损坏程度可分为隐含的断纤障碍、系统障碍和全阻障碍 3 种。

隐含的断纤障碍是指某条光缆的某些备用纤芯阻断而不能及时被察觉的障碍。

系统障碍是指光传输链路在某处出现问题而造成系统传输严重误码或中断的情况。

全阻障碍是指一条光缆线路的全部纤芯在某处中断, 通信受阻。

(2) 光缆线路障碍按性质(对通信的影响程度)可分为一般障碍、严重障碍和重大障碍 3 种。障碍性质的界定随着时间的推移和运行维护质量的提高, 以及用户对通信安全性要求的提高会越来越严格。

一般障碍是指由于光缆线路原因造成的部分在用业务阻断的障碍。

严重障碍是指由于光缆线路原因造成的全部在用业务阻断的障碍。

重大障碍是指在执行重要通信任务期间, 因光缆线路原因造成的全部业务阻断并产生



严重后果的障碍。

(3) 光缆线路障碍按处理时长可分为未超时障碍和超时障碍两种，原则上除不可抗拒的意外原因外，不允许出现超时障碍。

未超时障碍是指在规定的障碍处理时限内恢复通信的障碍。

超时障碍是指在规定的障碍处理时限内未恢复通信的障碍。

1.3.2 光缆线路障碍产生的原因

根据统计资料分析，在光纤通信系统中，使通信中断的主要原因是光缆线路障碍，约占统计障碍的 2/3。而在光缆线路障碍中，由于挖掘原因引起的障碍占一半以上。在由挖掘引起的障碍中，又分事先未通知电信公司和已通知电信公司两种情况。未通知电信公司所造成的事故约占 40%；虽然事先通知了电信公司，但由于对光缆的精确位置和对光缆位置的标记不清而造成的事故也占 40%。

光缆线路障碍的产生原因与光缆的敷设形式有关，敷设形式主要有地下（直埋和管道）和架空两种。地下光缆线路不易受到车辆、射击和火灾的损坏，但受挖掘的影响很大。架空光缆线路不大受挖掘的影响，但受车辆、射击和火灾的伤害严重。总体来说，地下光缆和架空光缆发生故障的概率没有多大区别。如果能设法最大限度地减少由挖掘引起的障碍，则地下光缆要比架空光缆安全。

引起光缆线路障碍的原因主要有以下几点。

1. 挖掘

挖掘是光缆损坏的最主要原因。有人做过统计，在调查的 650 次障碍中，有 280 次是由挖掘引起的，占光缆线路障碍的 58%，在建筑施工、维修地下设备、修路、挖沟等工程中，均可产生对光缆的直接威胁。

2. 技术操作错误

技术操作错误是由技术人员在维修、安装和其他活动中引起的人为障碍。在调查的障碍中，有 35 次属于这类障碍，占光缆线路障碍的 7.4%，仅次于由挖掘引起的障碍次数，占第二位。其中，在对光缆进行维护的过程中，由于技术人员不小心引起的障碍占多数。例如，在光纤接续时，光纤被划伤、光纤弯曲半径太小、接续不牢等；在切换光缆时，错误地切断正在运行的光缆等。

3. 鼠害

各类啮齿动物啃咬光缆造成光缆破裂或光纤断纤约占光缆线路障碍的 4.8%，在调查的障碍中，大约有 20 次属于此类障碍，占第三位。无论地下、架空还是楼内的光缆，都同样受到鼠害的威胁。

4. 车辆损伤

在调查的障碍中，此类障碍有 19 次，占光缆线路障碍的 4%。其中只有 3 次是对地下光缆的损害，其余均是对架空光缆的损害。架空光缆受损害主要有两种情况：一种是车辆撞倒电杆使光缆拉断；另一种是在光缆下面通过的车辆拉（挂）断了吊线和光缆。其中大



多由于吊线、挂钩或电杆的损坏引起光缆下垂，也有的是因为穿过马路的架空光缆高度不够或车辆超高引起的。

5. 火灾

架空光缆和楼内光缆受火灾损坏也很多。在统计的障碍中，有 15 次是由火灾引起的，占光缆线路障碍的 3.2%。其中以光缆路由下方堆积的柴草、杂物等起火导致的线路损坏和架空光缆附近农民焚烧秸秆引发光缆障碍最为常见。

6. 射击

在统计的障碍中，架空光缆因各类枪支射击、子弹爆炸和冲击共发生 13 次障碍，占光缆线路障碍的 2.7%。这类障碍一般不会使所有光纤中断，而是使部分光缆部位或光纤损坏，但这类障碍查找起来比较困难。近几年，随着国家枪支管理的加强，这类障碍已发生较少。

7. 洪水

由于洪水冲断光缆或光缆长期浸泡在水中而使光纤进水引起光纤衰减增大。在统计的障碍中，这类障碍共有 7 次，占光缆线路障碍的 1.5%。

8. 温度的影响

温度过低或过高都对线路产生影响。在低温事故中，有两次是由于接头盒内进水结冰造成的，两次是由于架空光缆护套冬天纵向收缩，对光纤施加压力产生微弯使衰减增大造成的。当光缆距暖气管道很近时，会使光缆护套损坏。在调查的障碍中，有 8 次是由这类原因引起的，占光缆线路障碍的 1.7%。

9. 电力线的破坏

当高压输电线与光缆或光缆吊线相碰时，强大的高压电流会把光缆烧坏。在统计的障碍中，这类障碍约占 1.5%。

10. 雷击

当光缆线路或其附近遭受雷击时，在光缆上容易产生高电压，从而损坏光缆。

从以上的光缆线路障碍分析中可以看出，由于光缆本身的质量问题和由自然灾害引起的障碍所占的比例较小，大部分障碍是属于人为性质的。因此，在维护工作中，应充分注意这一情况。

1.3.3 光缆线路障碍定位方法

目前，光缆线路障碍定位的主要方法是使用 OTDR 对光纤长度及光纤线路中某点的损耗进行测量。通过对 OTDR 测量出的背向散射信号曲线上异常点的位置及其对应的损耗台阶或菲涅尔反射峰等进行分析，获得光纤沿线各特征位置（包括接头位置、跳接位置、断裂位置、损耗过高位置等）对应的长度量值。这为障碍定位提供了科学有效的数据，再结合光缆线路的实际路由情况和预留情况，就可以找到线路的障碍点。

OTDR 的常规化使用容易掌握，但在实际的光缆线路维护工作中，由于障碍情况的特



殊性、多样性、复杂性，所以怎么针对实际情况，结合 OTDR 的测量数据，快速准确地判断出障碍位置，对光缆线路障碍的查修极为重要。

1.3.4 光缆线路障碍的统计、计算与查修方法

1. 光缆线路障碍的统计

由于光缆线路的原因影响通信质量而使用单位同意继续使用的情况称为光缆线路的勉强状态。光缆线路的勉强状态不作为光缆线路障碍，但维护单位应设法积极排除。勉强次数、历时应如实报上级线路主管部门，作为分析光缆线路质量和改进维护工作的依据。

由于光缆线路原因造成业务系统障碍倒换至备用系统，或者备用系统和远供系统发生故障而未影响通信的情况也不记为光缆线路障碍。光缆线路维护单位要积极查明原因，拟订修复方案报上级主管单位批准后实施。光缆线路障碍的实际次数、历时应如实报上级线路主管部门，作为分析和改进维护工作的依据。

同一条光缆同时在一处无论阻断几芯光纤均只记障碍一次。同一中继段内的同一业务系统同时阻断多次，记障碍一次。光缆线路障碍的实际次数、历时应如实报上级线路主管部门。

光缆线路障碍历时以系统业务出现阻断时开始计算，至光缆线路修复（或倒通）以传输站验证可用时为止。

2. 障碍计算

光缆线路障碍计算包括平均每百系统千米障碍次数计算和平均每百系统千米障碍历时计算：

$$\text{平均每百系统千米障碍次数} = \frac{\text{障碍总次数(次)}}{\text{系统总长度(系统千米)}} \times 100(\text{系统千米})$$

$$\text{平均每百系统千米障碍历时} = \frac{\text{障碍总历时(分)}}{\text{系统总长度(系统千米)}} \times 100(\text{系统千米})$$

式中，系统总长度指所辖光缆线路在用的业务系统总千米数，单位为系统千米。

例如，某系统使用 12 芯光缆 80km，其中 10 芯开通 5 个业务系统，2 芯用作备用系统，则系统长度为 $5 \times 80\text{km} = 400$ 系统千米。在进行障碍计算时，一般要求保留小数点后两位有效数字。

1.3.5 光缆线路障碍抢修步骤

故障初步定位后，光缆抢修施工按流程可分为到达、准确定位、取缆、开剥、接续、恢复 6 个环节。

1. 到达

要进行维修作业，首先要使维修人员、设备、材料能够尽快到达现场。维护工具的机载化是实现快速到达的重要途径。这一方面是要保证人员及设备能够尽快地到达故障地点；另一方面是通过设备的合理集载与布置保证在施工现场可迅速完成作业环境搭建，按程序有条不紊地开展施工。



2. 准确定位

由于在事故发生后，初步测算的故障点与实际故障点通常有一定的差异，因此，到达现场后往往还需要经过进一步的探查。只有进行故障点的精确定位后，才能执行标准的维修程序。

对于陆地上的光缆，常用的办法有以下几种。

- (1) 通过目测观察线路故障现场情况，找到故障点。
- (2) 在故障点附近用接头盒进行测试，测算出准确的故障位置。
- (3) 对于路由不明的直埋线路，用路由探测设备找出光缆的准确路由。

3. 取缆

对于埋式光缆，取出光缆意味着开挖。由于光缆是直接敷设在泥土中的，所以可供使用的余留长度经常是很缺乏的，需要根据现场情况开挖接头坑。接头坑的规格只有按照不小于2m宽、4m长、深度至少低于在用光缆30cm的要求才能方便操作。如果现场地形不允许开挖这么大的面积，则至少要开挖至可进行操作。尽可能选择有一定转弯的地形，将光缆沟开挖更长的距离，使光缆腾空，留更多的长度适合开剥/熔接等操作。开挖后将光缆清洗干净，并将操作台放入坑底，要求便于施工人员操作。长期以来，直埋光缆维修时一直依靠人力完成，已成为维护耗时最长、机械化程度最低的一个环节，其主要原因是找不到一种能够保证光缆安全的开挖工具。不过，目前已有一些厂家开始研制融合电子技术的新型安全开挖机械设备，这些设备将能够大幅度提高安全开挖的效率。

对于架空光缆，应尽量选择有盘留光缆的电杆，解松余留并放下来即可。如果无法就近找到余留的地点，则放松相邻几个杆档的光缆挂钩，使光缆放下至地面进行操作。如果修复部位在接头盒上，则将架空接头盒从杆上安全取下。如果发现架空接头盒密封胶脱落、加强芯抽出等异常情况，则应先在杆上采取保护措施，然后取下，以防移动过程中发生意外阻断情况。

对于管道光缆，由于光缆敷设在管孔中，所以在选择作业点的时候，应尽量选择原有余留缆的人井或接头井，以便将光缆拉出人井外进行割接操作。接头处可利用旧接头盒，也可对光缆开天窗，这样可避免逐井拉余留的工作。

4. 开剥

在开剥环节，应依据事先制订的计划，以及要求和规范的开剥程序，采用专用的工具进行开剥，在开剥时应注意不要造成二次故障。

5. 接续

接续是光缆修复的核心环节，在这个环节中，通常采用临时抢通和永久接续两种方式。在抢修过程中，也可根据情况先采用冷接做临时接续，准备完毕再进行热接。

6. 恢复

在接续作业完成后，要进行施工现场的恢复。对光缆接头盒进行固定，并采取必要的保护措施，线路恢复后要确认光缆是否已修好。



1.3.6 光缆线路障碍处理方法

1. 隐含的断纤障碍查修

城乡建设施工部门在施工前往往不与通信部门联系，事先也没有任何施工迹象，并且一般都是在夜间进行的，光缆线路的日常巡护很难发现。这种施工碰断某条光缆的非占用光纤的 1 芯或数芯的情况比较多，从而造成隐含的障碍，这种障碍很可能很长时间不得知晓。

光缆备用纤芯的定期和不定期测试是发现隐含的光缆纤芯阻断障碍的重要手段。非占用纤芯的阻断在大多数情况下只能通过定期和不定期的备纤测试来发现。备用纤芯的不定期测试是指有时传输要占用某纤，通过测试发现有障碍，不能用，或者由于其他原因需要对光纤进行测试，结果发现了障碍。需要对备用纤芯进行定期测试，结合产权单位的规定，应对备用纤芯每年至少进行一次背向散射信号曲线测试。只要做到对备用纤芯进行完全而认真地测试，就能够把隐含的断纤障碍全部找出来。在进行备用纤芯的背向散射信号曲线测试时，最好双向测试，这可顺便检测出尾纤（或尾纤的活动连接器头）存在的隐含障碍。

查找出隐含的断纤障碍后，应根据传输需求的轻重缓急和障碍处理的易难程度，制订出修复方案，待主管部门批准后实施。

为了尽可能地避免发生隐含的断纤障碍，当日常巡护人员发现涉及通信线路的施工时，一定要核实施工时间、地段和该地段内的光缆。虽然当时没有出现光系统中断障碍，但也有必要对各条光缆的备用纤芯进行测试，以看是否有隐含的光纤障碍。

2. 系统障碍查修

造成系统障碍的原因也是很多的，如外施工铲挖、风钻破路等擦伤；挤断光缆内的部分光纤；管道内的其他电信线路施工踩伤，锯坏光缆的部分光纤；接头老化，受到振动而松动进水，使光纤接头异化，损耗增大或中断；自然断纤；局内尾纤与跳线的活动接头松动造成光路阻断；尾纤和跳线的余长盘放不当，久而久之自然下坠造成在某点弯曲过大而使传输中断等。在一般情况下，系统障碍相对来说对通信的影响较全障碍要小得多，但障碍点的隐蔽性较强，测试人员要具有熟练的测试技术和精确的数据分析能力，有时还要参考竣工文件并结合其他手段才能确定障碍点的位置或范围。以下分几种情况来介绍系统障碍的查修方法。

（1）外施工造成的系统障碍的查修。

对于因外力施工作用造成的系统障碍，一般情况下，光缆可能有 1 芯或数芯光纤被弄断，其中有占用光纤，也可能有非占用光纤。首先从局端通过 OTDR 测试获得障碍光纤的长度（对非占用光纤要逐一进行测试，以确定共有多少断纤），并结合光缆的路由走向和余留情况推断出障碍点的大致范围，然后沿途仔细查看。

① 对于外施工造成的系统障碍，一般说来，在障碍点区域路面会留下比较明显的施工痕迹，不难查找到。

② 通信管线每年的建设量也是很大的，在施工中误伤、误碰甚至锯坏在用光缆的情况屡见不鲜，这类障碍绝大多数发生在人井里。因此，要结合光缆线路巡视人员掌握的施工情况和通过测试判断的断纤位置，认真仔细地检查范围内人井里的光缆。光缆被锯或被



其他利器弄伤的伤口比较隐蔽，难以发现。要把光缆擦干净，用手捋着一点一点查看，有时甚至需要反复查看才能发现障碍点。

一条光缆部分光纤阻断的修理根据实际情况大致有以下几种处理方式。

① 对于光缆被从上向下的外力直接作用而弄断部分纤芯的硬伤障碍，不管是在管道内还是在人井里，障碍点两边的光缆不会受到拉伸，两边附近不会再有断纤情况。若障碍点两边有余留光缆且能串移到障碍点并达到够接续用，则可以在障碍点处纵剥光缆，做一个接头直接把断纤接上，使通信恢复。注意：在做接续处理时要特别小心，不要弄断其他无障碍的光纤。

② 若障碍点两边没有余留光缆可向障碍点串移或有余留光缆但串移不动，那么这时在障碍点便无法修复光缆，遇到这种情况，一般需要换段修复。

③ 障碍点两边的余留光缆虽然不能向障碍点串移，但在障碍点两边附近具备光缆接续操作的条件，这样可不直接完全换段。用接头盒把障碍点光缆保护起来（把未断的光纤保护起来，使之安全），再介入一段光缆，从障碍点两边临时修复阻断的光纤，待条件具备时再考虑通过换段来完全修复光缆。

④ 经常会遇到这样的情况：一条光缆的部分甚至大部分光纤在一点阻断了，未断的光纤中传输着重要的系统，障碍点具备处理和接续光缆的操作条件。这时采取方式①怕断未断的光纤，进而产生更大的影响，可采取方式③进行修复。

(2) 自然断纤造成的系统障碍的查修。

由于光纤的质量原因，光缆内出现自然断纤而造成系统障碍的情况也偶有发生，这种情况虽然极少，但查修起来很困难。路面上和光缆上无任何痕迹，障碍点的位置难以确定。测试人员要有高超的测试技术，熟悉光缆线路情况。测试时要选择准确的测试折射率和恰当的测试脉宽，断点菲涅尔反射的强弱、光纤和光缆的胶合率、光缆长度和路面长度的差、各处的余留情况等都要考虑，并使之准确。必要时，可从光缆两端进行双向测试，务必要弄准断纤在哪一段管道内或哪两杆之间，或者哪两块标石之间，然后才好进行修理。一般说来，这种障碍确定不了准确的位置，但要把障碍点的范围缩减到最小。在绝大多数情况下，这种障碍只能采取换段割接的方式修复。

如果光缆本身没有受到损伤，且备用光纤比较多，那么中断的系统很容易倒跳通，在短时间内不会影响系统开通使用，此时可以认为其中的好光纤是安全的，暂时没有必要因为个别光纤障碍而大动作地换段修复光缆。

(3) 局内和接头内断纤造成的系统障碍的查修。

① 尾纤和光跳线障碍查修。

出现系统障碍后，若用 OTDR 从局端测试确定的障碍点在局端或中间跳接局内的尾纤或光跳线上，则首先要仔细检查尾纤和光跳线有无异常，活动连接器的连接是否松动，进一步，还可用红光发生器检测尾纤和光跳线故障。跳线有故障更换即可；若尾纤有故障，则修复比较麻烦一些，要先把中断的传输系统通过其他光纤临时倒跳通，待尾纤修复后复原。

② 接头盒内光纤障碍查修。

对于光缆接头盒内光纤连接损耗增大或断裂等造成的系统障碍，熟悉光缆线路情况的维护人员用 OTDR 测试可以很容易地确定障碍点。对于这种障碍，要先仔细检查接头两边



的光缆有无伤痕，把余留光缆理顺后看障碍是否消除；再考虑打开接头盒检查光纤。千万不要不检查就贸然打开接头盒。虽然 OTDR 测试判断障碍点在接头盒里，但由于 OTDR 有测试误差，所以也有可能障碍点不在接头盒内而在接头盒外 2m 或 3m 的范围内。

注意：要设法及时把中断的系统倒跳通，再查找障碍。查找光缆接头盒内光纤障碍一般要求在夜间进行。因为开启接头盒操作存在着碰坏光纤的危险。夜间操作要安排机务配合，以防意外情况发生。

3. 全阻障碍查修

全阻障碍的危险性极大，特别是对于没有双物理路由保护的段落，可能会造成该方向的传输系统完全中断。一条光缆线路发生全阻断，往往会发生严重障碍或重大通信阻断障碍，要求抢修人员以最快的速度恢复系统通信，把因通信阻断给用户造成的影响，以及给通信运营企业带来的经济损失和社会影响减到最小。

全阻障碍多数是外力作用造成的，如挖掘、钻孔、车挂等，其特点是障碍现场有明显的痕迹，维护人员很容易发现。对于全阻障碍，一般情况下是网管监测和传输维护人员首先发现在某个方向上有很多光系统传输中断告警，光缆线路维护部门要根据网管监测和传输维护人员提供的情况与光缆线路自动监测系统测试的数据判断涉及阻断光缆的段落。光缆线路查修人员和巡视人员要同时行动前往局内测试并进行现场查找，往往是巡视人员先发现障碍现场。要依据现场情况，采取灵活的应急恢复通信的措施。若现场不具备马上就能接续光缆的条件，那么光缆线路查修人员要配合传输人员尽快把一些重要的光系统通过其他光缆甚至迂回路由临时倒跳通。若能把所有阻断的光系统都临时倒跳通则最好，这样可缓冲一下光缆抢修工作，使光缆抢修能稳妥进行，更好地保证光缆线路的修复质量。

对于全阻障碍，如果光缆断点两边没有被拉伸，则 OTDR 测试各纤长度一致，背向散射信号曲线在断点处的菲涅尔反射峰都很明显，可从两边把光缆向断点移动，达到够接续的长度，进行修复接续。对于管道光缆，当光缆发生障碍时，大多数情况下，管道也肯定受到了损伤，因此，在光缆修复且通信恢复正常后，应修复管道，并在光缆抢修接头处增做一个人井或手孔，以放置光缆接头盒保护有关的线路。

对于管道光缆，如果断点两边光缆受到拉伸，则在人井或手孔的拐点处，光缆受力不平衡，可能会有部分纤芯被拉伸，有的光纤可能出现两处甚至多处阻断现象。对于这种情况，在初步确定障碍的性质和位置后，还要进一步确定断点附近是否还存在断纤现象。若断点附近几米内还有断纤，则由于测试误差，用 OTDR 从局端光缆尾纤测试是很难确定的。最好的方法是用 OTDR 从断点向两边测试（测非占用光纤，因为占用光纤的光端机在发着光，所以最好不要用 OTDR 测试），测试时介入一段 200~500m 的测试光纤，依次和每根光纤耦合进行测试，测试脉宽要尽可能小一些以获得长度上的最大分辨率。若发现断纤，就把曲线展宽细测，并与从局端得到的测试数据一起进行综合分析，一般可以比较准确地确定断纤位置。若非占用光纤的测试未发现其他的断纤位置，则应继续对占用光纤进行测试。对于占用光纤，由于光端机在发着光，所以可先用光功率计做接收测试以判断是否有断纤情况，再用 OTDR 确定断纤位置。如果障碍点距离局端的长度在红光发生器的测试范围内，则用红光发生器判断障碍点附近是否还存在断纤情况就比

较容易了。用红光发生器从局端向光纤发光，在障碍点能看见红光，说明障碍点两边附近没有断纤情况；若看不见红光，则说明障碍点两边附近还有断纤情况，需要进一步判断断纤的大概位置，然后介入一段光缆尽快抢修，千万不要在测试上耽误时间。

处理全阻障碍一定要考虑周到，要了解光缆路由的走向，查看相关人井或手孔中的光缆是否有明显的受力点，如果盲目地在光缆的断点处匆忙地进行抢修接续，则会由于光缆在其他处可能存在部分断纤情况而在光缆接续完毕后某些光系统不能恢复，使抢修工作陷入被动局面，障碍历时延长甚至超时限，从而造成更为严重的损失。若在断点处无法直接通过对接修复光缆，则需要换段修复。换段时应考虑两边附近两三个人井内有无接头或其他隐患，应从接头做起并能消除其他隐患；否则应急抢修换段应控制得越短越好（但不得低于30m），这样可缩短抢修时间和节省材料。

对于较大芯数的光缆线路，在纤芯占用比较多的情况下，在进行全阻障碍抢修接续时，一般情况下不主张对占用纤芯用 OTDR 测试，光纤接续时从重要系统、一般系统到非占用纤芯顺序接续。对于占用纤芯，接续损耗以熔接机显示的值为参考，肉眼观察有无异常，系统端机立即恢复正常即可。对占用纤芯用 OTDR 测试极有可能弄错光缆尾纤通过跳线连接端机的纤序，尾纤和跳线重新连接时也极易出现问题，弄得不好会使系统恢复延迟很长时间。对于非占用纤芯，应当用 OTDR 监测接续和进行全程背向散射信号曲线测试，资料存档。

全阻障碍查修要根据现场情况灵活地采用不同的测试方式，要以尽快恢复通信为原则，不能由于测试的滞后而耽误抢修时间，更不要已经看到光缆的明显破坏点还要用精确的测试结果来确认，这样做会耽误很长时间。在大多数情况下，太精确的断点距离的确认对光缆的修复没有必要。有时候只要知道障碍在哪一段管道内或哪一段杆路上就已经足够了。

4. 直接修复和应急抢代通的选择

障碍点的处理分两种情况：实施障碍点的应急抢代通或障碍点的直接修复。线路障碍的排除是采用直接修复，还是先布放应急光缆实施抢代通，再进行原线路修复，取决于光缆线路修复所需的时间和障碍现场的具体情况。

(1) 直接修复。

一般在下述情况下应直接进行修复。

- ① 网络具有自愈功能时。
- ② 临时调度的通路，可以满足通信需要时。
- ③ 障碍点在接头处，且接头处的余缆、盒内余纤够用。
- ④ 架空光缆的障碍点，直接修复比较容易时。
- ⑤ 直接修复与抢代通作业所用时间差不多时。

(2) 应急抢代通。

光缆线路障碍产生后，为了缩短通信中断时间，可以实施光缆线路抢代通作业。抢代通就是迅速地用应急光缆代替原有的障碍光缆，实现通信的临时性恢复。抢代通作业的实施单位必须装备有抢代通器材和工具等。一般抢代通系统装备到县级维护单位较为合理。



① 在下列情况下，需要先布放应急光缆实施抢代通，再做正式修复。

- a. 线路的破坏因素尚未消除时，如在遭遇连续暴雨、地震、泥石流和洪水等严重自然灾害的情况下。
- b. 原线路的正式修复无法实行时。
- c. 光缆线路修复所需的时间较长时，如光缆线路遭遇严重破坏，需要修复路由、管道或考虑更改路由。
- d. 线路障碍情况复杂，障碍点无法准确定位时。
- e. 主干线或通信执行重要任务期间。

② TRS-9702 光缆应急抢代通系统。

下面以 TRS-9702 光缆应急抢代通系统为例介绍应急抢修器材的构成及操作细则。

TRS-9702 光缆应急抢代通系统主要用于架空、管道和直埋等光缆线路的临时性应急抢修。当光缆线路发生障碍并通过人工或其他搬运方式将本系统携带至障碍现场时，采用可重复使用的光纤接续子的机械连接方式，将应急光缆接入障碍线路中，即可临时恢复通信，待用永久性接续方式恢复线路后，将应急光缆撤离光缆线路，并收回至收容盘，以便下次障碍抢修时使用。

a. 主要技术指标。

b. 系统构成。TRS-9702 光缆应急抢代通系统由以下几部分构成。

一是应急光缆和光缆收容盘部分。应急光缆为进口特种轻型光缆，由 6 根紧套单模光纤组成，长度为 100m。光缆收容盘由铝合金材料制成，为满足抢修中的实际需要，将收容盘设计成连体的主、副两盘，应急光缆 10m 长的一端在副盘中绕放，其余部分（90m 或更长）绕放在主盘中。

二是光纤接续子与接续专用工具。采用 SIECOR 公司（德国）的 CAM splice 光纤接续子，机械式连接光纤，具有连接损耗小、稳定、易操作、能重复使用等优点。用接续子连接光纤有两种操作方式：一种是手动操作方式，不需要接续专用工具；另一种是利用接续专用工具的操作方式。采用后一种方式，能使连接光纤的端面在接续子内接触良好，从而获得较小的连接损耗。因此，在 TRS-9702 光缆应急抢代通系统中采用专用工具连接光纤的操作方式。AT-1 型接续专用工具具有操作简单、易于掌握、可靠等优点，可大大提高光纤的接通率。

三是光缆应急抢修接续盒。光缆应急抢修接续盒是专门为应急抢修设计的，具有体积小、质量轻、密封防水和易操作等特点。接续盒采用上下两半结构，由 6 个活动搭扣将两半壳体固定在一起，接合部分用胶条密封。接续盒内采用叠层方式固定光纤收容盘，最多可放 4 层，每盘可容纳光纤 6 根，因此可收容 24 根光纤。接续盒壳体采用高强度、耐腐蚀塑料制成，障碍光缆和应急光缆从同侧引入，另一侧有挂钩孔，以便悬挂安装。为便于应急光缆的引入和固定，并缩短抢修时间，专门设计了应急光缆引入装置。该装置平时和应急光缆一并与光纤预接保护盒连接，这样，在抢修现场抢修只需去掉光纤预接保护盒，把引入装置（连同应急光缆端头）置入接续盒的应急光缆引入孔内，即可完成对应急光缆的处理。

四是光纤预接保护盒。为缩短抢修时间，专门设计了应急光纤预接保护盒，允许在抢修前把应急光缆端头事先做好端面处理，并与光纤接续子相连接，置于光纤预接保护盒之



内进行保护。

五是工具和器材。工具和器材配套齐全，能满足工程中常用的各种结构光缆和光纤接续要求的是多功能支架。它主体采用框架结构，由稀土铝管材加工而成，具有质量轻、强度高、耐用等优点。该支架具有多种功能，可以满足抢修及工程的需要。

c. 使用操作。利用 TRS-9702 光缆应急抢代通系统进行线路障碍抢修的主要操作过程可分为以下 4 步。

第一步：应急光缆端头预处理。应急光缆端头预处理就是将应急光缆主收容盘中的光缆引出端从收容盘上放出适当长度（约 2m），在外护层上绕一层密封胶带，并用应急光缆固定环把应急光缆固定在引入装置上。将应急光缆中的每根光纤依次剥除套塑、一次涂覆层，并做端面处理。在接续专用工具上用光纤接续子将应急光纤进行预接，并将连接好接续子的气纤收放在光纤预接保护盒内，将接续子置于接续子嵌入槽内。对应急光缆的另一端做同样的预处理。将应急光缆回收到光缆收容盘上，并将两端的气纤预接保护盒也固定在光缆收容盘上。

第二步：装载和搬运。根据不同的道路条件，可采用背负、抬行或拖行等多种方式携带光缆应急抢代通系统。

第三步：应急抢代通。在线路障碍地段布放主收容盘上的应急光缆，并取下副收容盘一端的气纤预接保护盒，放出副收容盘上的光缆。开剥障碍光缆，并固定到接续盒内。将应急光缆一端的气纤预接保护盒除去，并将应急光缆固定在接续盒内。再进行光纤接续工作，即把每根应急光纤和障碍光纤用接续子连接。将连接好的光纤接续子嵌入收容盘固定槽内，并在收容盘内盘放好余纤。安装好接头盒并固定保护。

第四步：应急光缆的回收。待用永久性接续方式修复线路后，可将应急光缆撤离障碍光缆线路。

1.3.7 光缆线路障碍处理记录

在光缆线路故障处理过程中，要准确做好各时间段的记录，以供编制障碍报告和其他有关方面备查使用。

记录内容主要包括接到报警时间、到达现场时间、确定障碍时间、开始处理障碍时间、第一个系统恢复时间、所有系统恢复时间、光缆修复完成时间、倒跳接业务情况等。

1.4 方案制订

1.4.1 光缆通信工程基本规范

光缆通信工程主要包括光缆线路工程和设备安装工程两部分，它们多数属于基本建设项目。公用电信网的光缆通信工程按行政隶属关系可分为部直属项目（如光缆一级干线工程）和地方项目（如光缆二级干线工程、本地网光缆）。本地光缆通信工程多数属于某一个建设项目中的一个单项或单位工程。光缆通信工程的建设程序可以划分为规划、设计、准备、施工和竣工投产 5 个阶段，如图 1-25 所示。

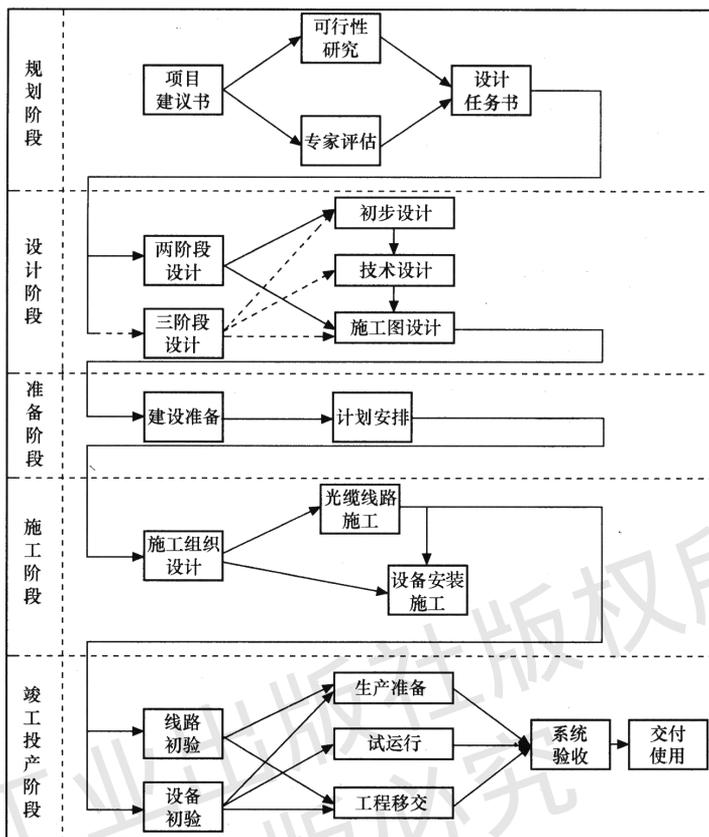


图 1-25 光缆通信工程的建设程序

1. 规划阶段

规划阶段是光缆通信工程建设的第一阶段，包括项目建议书的提出、可行性研究、专家评估及设计任务书的编写，一般中大型光缆项目才有此阶段。

(1) 项目建议书的提出。

项目建议书是工程建设程序中最初阶段的工作，是投资决策前拟定该工程项目的轮廓设想。项目建议书主要包括如下内容。

① 项目提出的背景、建设的必要性和主要依据，介绍国内外主要产品的对比情况和引进理由，几个国家同类产品的技术、经济分析。

② 建设规模、地点等初步设想。

③ 工程投资估算和资金来源。

④ 工程进度和经济、社会效益估计。

项目建议书提出后，可根据项目的规模、性质报送相关计划主管部门审批。批准后即可进行可行性研究工作。

(2) 可行性研究。

可行性研究是对建设项目在技术上、经济上是否可行的分析论证，也是工程规划阶段的重要组成部分。可行性研究的主要内容如下。

① 项目提出的背景，投资的必要性和意义。



- ② 可行性研究的依据和范围。
- ③ 电路容量和线路数量的预测，提出拟建规模和发展规划。
- ④ 实施方案论证，包括通路组织方案、光缆和设备造型方案、配套设施。
- ⑤ 实施条件，对于试点性质工程尤其应阐述其理由。
- ⑥ 实施进度建议。
- ⑦ 投资估计及资金筹措。
- ⑧ 经济及社会效果评价。

通信基建项目规定，凡是大中型项目、利用外资项目、技术引进项目、主要设备引进项目、国际出口局新建项目、重大技术改造项目等都可以进行可行性研究。

有时也可以将项目建议书的提出同可行性研究合并进行，但对于大中型项目，还是应分两个阶段进行。

(3) 专家评估。

专家评估是指由项目主要负责部门组织有理论、有实际经验的专家，对可行性研究的内容做技术、经济等方面的评价，并提出具体的意见和建议。专家评估报告是主管领导决策的依据之一。目前，对于重点工程、技术引进项目等进行专家评估是十分必要的。

(4) 设计任务书的编写。

设计任务书是确定建设方案的基本文件，是编制设计文件的主要依据。在编写设计任务书时，应根据可行性研究推荐的最佳方案进行。它包括以下主要内容。

- ① 建设目的、依据和建设规模。
- ② 预期增加的通信能力，包括线路和设备的传输容量。
- ③ 光缆线路的走向，设备安装局/站地点及其配套情况。
- ④ 经济效益预测、投资回收年限估计，以及技术引进项目的用汇额、财政部门对资金来源等的审查意见。

2. 设计阶段

设计阶段的主要任务就是编制设计文件并对其进行审定。

光缆通信工程设计文件的编制同其他通信工程设计文件的编制一样，是分阶段进行的。设计阶段的划分是根据项目的规模、性质等不同情况而定的。一般大中型工程采用两阶段设计，即初步设计和施工图设计。而对于大型、特殊工程项目或技术上比较复杂而缺乏设计经验的项目，实行三阶段设计，即初步设计、技术设计和施工图设计。小型工程项目也可以采用一阶段设计，如设计施工比较成熟的市内光缆通信工程项目。

各个阶段的设计文件编制出版后，将根据项目的规模和重要性，组织主管部门，设计、施工建设单位，物资，银行等单位的人员进行会审，然后上报批准。初步设计一经批准，执行中不得任意修改变更。施工图设计是承担工程实施部门（具有施工执照的线路、机械设备施工队）完成项目建设的主要依据。

3. 准备阶段

准备阶段的主要任务是做好工程开工前的准备工作，包括建设准备和计划安排。

建设准备主要指完成开工前的主要准备工作，如勘察工作中水文、地质、气象、环境



等资料的收集；路由障碍物的迁移、交接手续；主材、设备的预订货及工程施工的招投标。

计划安排是要根据已经批准的初步设计和总概算编制年度计划，对资金、材料设备进行合理安排，要求工程建设保持连续性、可行性，以保证工程项目的顺利完成。

4. 施工阶段

光缆通信工程的施工包括光缆线路的施工和设备安装施工两大部分。为了充分保证光缆通信工程施工的顺利进行，开工前还必须积极做好施工组织设计工作。建设单位在与施工单位签订施工合同后，施工单位应及时编制施工组织设计并做好相应的准备工作。施工组织设计的主要内容如下。

- (1) 工程规模及主要施工项目。
- (2) 施工现场管理机构。
- (3) 施工管理，包括工程技术管理，器材、机具、仪表、车辆管理。
- (4) 主要技术措施。
- (5) 质量保证和安全措施。
- (6) 经济技术承包责任制。
- (7) 计划工期和施工进度。

光缆施工阶段是指按施工图设计规定内容、合同书要求和施工组织设计，由施工总承包单位组织与工程量相适应的一个或几个光缆线路施工队和设备安装施工队施工。工程开工前，必须向上级主管部门呈报施工开工报告，经批准后方可正式施工。

光缆线路施工是光缆通信工程建设的主要内容，对投资比例、工程量、工期及传输质量的影响等都是十分重要的。对于一级干线工程，由于线路长、涉及面广、施工期限长，光缆线路施工就显得尤为重要。

设备安装施工即机械设备安装，是指光设备及配套的电气设备的安装与调测，主要包括铁件预制、安装，局内光缆布放，光/电端机的安装、调测，局内本地联测，以及端机对测、全系统调测。

5. 竣工投产阶段

为了充分保证光缆通信工程的施工质量，工程结束后，必须经过验收才能投产使用。竣工投产阶段的主要内容包括工程初验、生产准备、工程移交、试运行、竣工验收（系统验收）等几方面。

光缆通信工程项目按批准的设计文件内容全部建成后，应由主管部门组织设计、施工和监理等单位进行初验，并向上级有关部门递交初验报告。初验后的光缆线路和设备一般由维护单位代维。大中型工程的初验一般分线路和设备两部分分别进行，而小型工程则可以一起进行。

初验合格后的工程项目即可进行工程移交，开始试运行。

生产准备是指工程交付使用前必须进行的生产、技术和生活等方面的必要准备。生产准备主要包括如下内容。

(1) 培训生产人员。一般在施工前配齐人员，并可直接参加施工、验收等工作，使他们熟悉工艺过程、方法，为今后独立维护打下坚实的基础。

(2) 按设计文件配置好工具、器材及备用维护材料。

(3) 组织好管理机构、制定规章制度并配备好办公、生活等设施。

试运行是指工程初验后到正式验收、移交之间的设备运行。一般试运行期为3个月，大型或引进的重点工程项目的试运行期可适当延长。试运行期间，由维护部门代维，但施工部门负有协助处理故障、确保正常运行的职责，同时应将工程技术资料、借用器具及工程余料等及时移交给维护部门。

试运行期间，应按维护规程要求检查证明系统已达到设计文件规定的生产能力的传输指标。试运行期满后，应写出系统使用情况报告，提交给工程竣工验收主管单位。

竣工验收是光缆通信工程的最后一项任务。当系统的试运行结束并具备了验收交付使用的条件后，由相关部门组织对工程进行系统验收，即竣工验收。竣工验收是对整个光缆通信系统进行的全面检查和指标抽测。对于中小型工程项目，可视情况适当地简化验收程序，将工程初验同竣工验收合并进行。

1.4.2 光缆网的设计

1. 光缆网的构成

光缆网的构成应包括长途线路网、本地线路网和接入网，如图1-26所示。

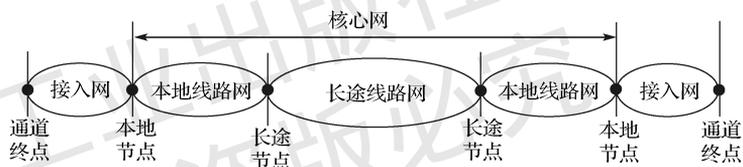


图 1-26 光缆网的构成

2. 光缆网的设计应符合以下规定

(1) 光缆网应安全可靠，向下逐步延伸至通信业务最终用户。

(2) 对于光缆网的容量和路由，在通信发展规划的基础上，应综合考虑远期业务需求和网络技术发展趋势，确定建设规模。

(3) 长途光缆的芯数应按远期需求而定，本地线路网和接入网应按中期需求配置，并应留有足够的冗余。

(4) 接入网光缆线路应根据业务接入点、用户性质、发展数量、密度、地域和时间的分布情况，充分考虑地理环境、管道杆路资源、原有光缆的容量，以及宽带光纤接入系统建设方式等多种因素，选择合适的路由、拓扑结构和配纤方式，构成一个调度灵活、纤芯使用率高、节省投资、便于发展、利于运营维护的网络。

(5) 在新建光缆线路时，应考虑共建共享的要求。

(6) 光缆线路在城镇地段敷设应以管道方式为主，对不具备管道敷设条件的地段，可采用塑料管保护、槽道或其他适宜的敷设方式。

(7) 光缆线路在野外非城镇地段敷设时宜采用管道或直埋方式，也可采用架空方式。

(8) 光缆线路在下列地段可采用架空敷设方式。

① 穿越峡谷、深沟、陡峻山岭等采用管道或直埋敷设方式不能保证安全的地段。



② 地下或地面存在其他设施，施工特别困难、原有设施业主不允许穿越或赔补费用过高的地段。

③ 因环境保护、文物保护等原因无法采用其他敷设方式的地段。

④ 受其他建设规划影响，无法进行长期性建设的地段。

⑤ 地表下陷、地质环境不稳定的地段。

⑥ 管道或直埋方式的建设费用过高，采用架空方式能保证线路安全且不影响当地景观和自然环境的地段。

(9) 在长距离直埋或管道光缆的局部地段采用架空方式时，可不改变光缆程式。

(10) 对于跨越河流的光缆线路，宜采用桥上管道、槽道或吊挂敷设方式；当无法利用桥梁通过时，其敷设方式应以线路安全稳固为前提，并结合现场情况按下列规定确定。

① 河床情况适宜的一般河流可采用定向钻孔或水底光缆的敷设方式。当采用定向钻孔时，根据实际情况可不改变光缆护层结构。

② 当遇到河床不稳定、冲淤变化较大、河道内有其他建设规划，或者河床土质不利于施工，无法保障水底光缆安全时，可采用架空跨越方式敷设。

3. 通信线路路由的选择

(1) 线路路由方案的选择应以工程设计委托书和通信网络规划为基础。工程设计应保证通信质量，使线路安全可靠、经济合理，且便于施工、维护。

(2) 在选择线路路由时，应以现有的地形地物、建筑设施和既定的建设规划为主要依据，并应充分考虑城市和工矿建设、铁路、公路、航运、水利、长输管道、土地利用等发展规划的影响。

(3) 在符合大的路由走向的前提下，线路宜沿靠公路或街道，应顺路取直，并应避开路边设施和计划扩改地段，以及可能受到化学腐蚀和机械损伤的地段。

(4) 线路路由应选择在地质稳固、地势较为平坦、土石方工程量较少的地段，应避开滑坡、崩塌、泥石流、采空区及岩溶地表塌陷、地面沉降、地裂缝、地震液化、沙埋、风蚀、盐渍土、湿陷性黄土、崩岸等对线路安全有危害的、可能因自然或人为因素造成危害的地段；应避开湖泊、沼泽、排涝蓄洪地带，宜少穿越水塘、沟渠，在障碍较多的地段应绕行，不宜强求长距离直线。

(5) 线路不应在水坝上或坝基下敷设。

(6) 线路不宜穿过大型工厂和矿区等大的工业用地；当需要在该地段通过时，应考虑对线路安全的影响，并应采取有效的保护措施。

(7) 线路在城镇地区应利用管道进行敷设。在野外敷设时，不宜穿越和靠近城镇、开发区及村庄；当需要穿越或靠近时，应考虑当地建设规划的影响。

(8) 线路宜避开森林、果园及其他经济林区或防护林带。

(9) 线路路由选择应考虑建设地域内的文物保护、环境保护等事宜，并应减少对原有水系及地面形态的扰动和破坏，维护原有景观。

(10) 线路路由选择应考虑强电影响，不宜选择在易遭受雷击和有强电磁场的地段。

(11) 在扩建光缆网时，应结合网络系统的整体性，优先考虑在不同道路上扩增新路

由，增强网络安全性。

(12) 针对光缆路由穿越河流的情况，当河流地点附近存在可供敷设的永久性坚固桥梁时，线路宜在桥上通过。当采用水底光缆时，应选择在符合敷设水底光缆要求的地方，并应兼顾大的路由走向，不宜偏离过远。但对于河势复杂、水面宽阔或航运繁忙的大型河流，应着重保证水线的安全，此时可局部偏离大的路由走向。

(13) 在保证安全的前提下，可利用定向钻孔或架空等方式敷设光缆线路过河。

(14) 当光缆线路遇到水库时，应在水库的上游通过，当沿库绕行时，敷设高程应在最高蓄水位以上。

4. 光缆线路敷设安装

(1) 一般规定。

① 光缆在敷设安装中，应根据敷设地段的环境条件，在保证光缆不受损伤的原则下，因地制宜地采用人工或机械敷设。

② 敷设安装中应避免光缆和接头盒进水，保持光缆外护套的完整性，并应保证直埋光缆金属护套对地绝缘良好。

③ 光缆敷设安装的最小曲率半径应符合规定要求，如表 1-1 所示。

表 1-1 光缆允许的最小曲率半径

安装后/时	无外护层或 O4 型	53、54、33、34 型	333、43 型
安装后（静态弯曲）	10 倍光缆外径	12.5 倍光缆外径	15 倍光缆外径
安装时（动态弯曲）	20 倍光缆外径	25 倍光缆外径	30 倍光缆外径

④ 光缆线路在施工过程中要考虑光缆必要的预留长度，主要包括光缆接头处的预留长度、光缆弯曲增加长度、局站内预留长度等。光缆的预留长度要严格按照要求实施，特殊地段可结合工程现场实际情况确定，如表 1-2 所示。

表 1-2 光缆增长和预留长度参考值

项 目	单 位	敷 设 方 式		
		直 埋	管 道	架 空
光缆接头重叠长度	m	5~10	5~10	5~10
人（手）孔内自然弯曲增加长度	m	—	0.5~1	—
光缆沟或管道内弯曲增加长度	%	7	10	—
架空光缆弯曲增加长度	%	—	—	7~10
地面局站内每侧预留（进线室内）长度	m	10~20，可按实际需要调整		
因水利、道路、桥梁等建设规划导致的预留长度	m	按实际需要确定		

⑤ 光缆在各类管材中穿放时，光缆的外径不宜大于管孔内径的 90%。光缆敷设安装后，管口应封堵严密。

⑥ 光缆敷设后应便于使用和维护中的识别，有清晰永久的标识。除在光缆外护套上加印字符或标志条带外，管道和架空敷设的光缆还应加挂标识牌，直埋光缆可敷设警示带。



(2) 直埋光缆敷设安装要求。

① 直埋光缆线路应避免敷设在将来会建筑道路、房屋和挖掘取土的地点，且不宜敷设在地下水位较高或长期积水的地点。

② 光缆埋深应符合表 1-3 的规定。

表 1-3 光缆埋深标准

敷设地段及土质		埋深/m
普通土、硬土		≥1.2
沙砾土、半石质、风化石		≥1.0
全石质、流沙		≥0.8
市郊、村镇		≥1.2
市区人行道		≥1.0
公路边沟	全石质（坚石、软石）	边沟设计深度以下 0.4
	其他土质	边沟设计深度以下 0.8
公路路肩		≥0.8
穿越铁路（距路基面）、公路（距路面基底）		≥1.2
沟渠、水塘		≥1.2
河流		按水底光缆要求

注：a. 边沟设计深度为公路或城建管理部门要求的深度。

b. 全石质、半石质地段应在沟底和光缆上方各铺 100mm 厚的细土或沙土，此时光缆的埋深相应减小。

c. 表中不包括冻土地带的埋深要求，其埋深在工程设计中应另行分析取定。

③ 光缆可同其他通信光缆或电缆同沟敷设，但不得重叠或交叉，缆间的平行净距不宜小于 100mm。

④ 直埋光缆接头应安排在地势较高、较平坦和地质稳固之处，并应避开水塘、河渠、沟坎、道路、桥上等施工、维护不便或接头有可能受到扰动的地点。光缆接头盒可采用水泥盖板或其他适宜的防机械损伤的保护措施。

⑤ 当光缆线路穿越铁路、轻轨线路、通车繁忙或开挖路面受到限制的公路时，应采用钢管保护，或者定向钻孔地下敷管，但应同时保证其他地下管线的的安全。当采用钢管时，应伸出路基两侧排水沟外 1m，光缆埋深距排水沟沟底不应小于 0.8m。钢管内径应满足安装子管的要求，但不应小于 0.8m。钢管内应穿放塑料子管，子管数量视实际需要确定，但不宜少于两根。

⑥ 当光缆线路穿越允许开挖路面的公路或乡村大道时，应采用塑料管或钢管保护；当穿越有动土可能的机耕路时，应采用铺砖或水泥盖板保护。

⑦ 当光缆线路通过村镇等动土可能性较大地段时，可采用大长度塑料管、铺砖或水泥盖板保护。

⑧ 当光缆穿越有疏浚和拓宽规划或挖泥可能的较小沟渠、水塘时，应在光缆上方覆盖水泥盖板或砂浆袋，也可采取其他保护光缆的措施。

⑨ 当光缆敷设在坡度大于 20° 且坡长大于 30m 的斜坡地段时，宜采用“S”形敷设。当坡面上的光缆沟有受到水流冲刷的可能时，应采取堵塞加固或分流等措施。在坡度大于 30° 的较长斜坡地段敷设时，宜采用特殊结构光缆。

⑩ 当光缆穿越或沿靠山涧、溪流等易受水流冲刷的地段时，应根据具体情况设置漫水坡、水泥封沟、挡水墙或其他保护措施。

⑪ 光缆在地形起伏比较大的地段敷设时，应满足规定的埋深和曲率半径要求。光缆沟应因地制宜地保证光缆的安全，采取措施防止水土流失，当高差为 0.8m 及以上时，应加护坎或护坡保护。

⑫ 光缆在桥上敷设时，应考虑机械损伤、振动和环境温度的影响，并应采取相应的保护措施。

⑬ 直埋光（电）缆与其他建筑设施间的最小净距应符合表 1-4 的要求。

表 1-4 直埋光（电）缆与其他建筑设施间的最小净距

名 称	平行时/m	交越时/m
通信管道边线（不包括人/手孔）	0.75	0.25
非同沟的直埋通信光（电）缆	0.5	0.25
埋式电力电缆（交流 35kV 以下）	0.5	0.5
埋式电力电缆（交流 35kV 及以上）	2.0	0.5
给水管（管径小于 300mm）	0.5	0.5
给水管（管径 300~500mm）	1.0	0.5
给水管（管径大于 500mm）	1.5	0.5
高压油管、天然气管	10.0	0.5
热力管、排水管	1.0	0.5
燃气管（压力小于 300kPa）	1.0	0.5
燃气管（压力 300kPa 及以上）	2.0	0.5
其他通信线路	0.5	—
排水沟	0.8	0.5
房屋建筑红线或基础	1.0	—
树木（市内、村镇大树、果树、行道树）	0.75	—
树木（市外大树）	2.0	—
水井、坟墓	3.0	—
粪坑、积肥池、沼气池、氨水池等	3.0	—
架空杆路及拉线	1.5	—

注：a. 当直埋通信光（电）缆采用钢管保护时，与水管、燃气管、输油管交越时的净距不得小于 0.15m。

- b. 对于杆路、拉线、孤立大树和高耸建筑，还应符合防雷要求。
- c. 大树指胸径为 0.3m 及以上的树木。
- d. 在穿越埋深与光（电）缆相近的各种地下管线时，光（电）缆应在管线下方通过并采取保护措施。
- e. 当最小净距达不到表中要求时，应按设计要求采取行之有效的保护措施。

（3）管道光缆敷设安装要求。

① 管道光缆占用的管孔位置可优先选择靠近管群两侧的适当位置。光缆在各相邻管道段占用的孔位应相对一致，当需要改变孔位时，其变动范围不宜过大，并应避免由管群的一侧转移到另一侧。

② 在水泥、陶瓷、钢铁或其他类似材质的管道中敷设光缆时，应视情况使用塑料子管保护光缆。在塑料管道中敷设时，大孔径塑料管中应敷设多根塑料子管以提高管孔利用率。



- ③ 子管的敷设安装应符合下列规定。
 - a. 子管采用耐久性好、环境相容性好的塑料管材。
 - b. 子管数量根据管孔直径及工程需要确定，数根子管的总等效外径不宜大于管孔内径的 90%。
 - c. 一个管孔内安装的数根子管应一次性穿放，子管在两人（手）孔间的管道段应无接头。
 - d. 子管在人（手）孔内应伸出便于施工操作的长度，可为 200~400mm。
 - e. 对于本期工程不用的子管，管口应进行防水封堵。
- ④ 光缆接头盒在人（手）孔内宜安装在常年积水水位以上的位置，采用保护托架或其他方法承托。
- ⑤ 人（手）孔内的光缆应固定牢靠，宜采用塑料管保护，并应有醒目的识别标志或光缆标牌。

(4) 架空光缆敷设安装要求。

- ① 当架空线路与其他设施接近或交越时，间隔距离应符合下列规定。
 - a. 杆路与其他设施的最小水平净距应符合表 1-5 的规定。

表 1-5 杆路与其他设施的最小水平净距

其他设施名称	最小水平净距/m	备 注
消防栓	1.0	指消防栓与电杆之间的距离
地下管、缆线	0.5~1.0	包括通信管、缆线与电杆间的距离
火车铁轨	地面杆高的 4/3 倍	—
人行道边石	0.5	—
地面上已有其他杆路	地面杆高的 4/3 倍	以较长标高为基准。其中，对 500~750kV 输电线路不小于 10m，对 750kV 以上输电线路不小于 13m
市区树木	0.5	缆线到树干的水平距离
郊区树木	2.0	缆线到树干的水平距离
房屋建筑	2.0	缆线到房屋建筑的水平距离

注：在地域狭窄地段，当拟建架空光缆与已有架空线路平行敷设时，若间距不能满足以上要求，则可以杆路共享或改用其他方式敷设光缆线路，并应满足间距要求。

- b. 架空光（电）缆在各种情况下架设的高度不应小于表 1-6 的规定。

表 1-6 架空光（电）缆在各种情况下架设的高度

名 称	与线路方向平时		与线路方向交越时	
	架设高度/m	备 注	架设高度/m	备 注
市内街道	4.5	最低缆线到地面	5.5	最低缆线到地面
市内里弄（胡同）	4.0	最低缆线到地面	5.0	最低缆线到地面
铁路	3.0	最低缆线到地面	7.5	最低缆线到轨面
公路	3.0	最低缆线到地面	5.5	最低缆线到路面
土路	3.0	最低缆线到地面	5.0	最低缆线到路面

续表

名 称	与线路方向平时		与线路方向交越时	
	架设高度/m	备 注	架设高度/m	备 注
房屋建筑物	—	—	0.6	最低缆线到屋脊
			1.5	最低缆线到房屋平顶
河流	—	—	1.0	最低缆线到最高水位时的船桅顶
市区树木	—	—	1.5	最低缆线到树枝的垂直距离
郊区树木	—	—	1.5	最低缆线到树枝的垂直距离
其他通信导线	—	—	0.6	一方最低缆线到另一方最高缆线

c. 架空光（电）缆交越其他电气设备的最小垂直净距不应小于表 1-7 的规定。

表 1-7 架空光（电）缆交越其他电气设备的最小垂直净距

其他电气设备名称	最小垂直净距/m		备 注
	架空电力线路有 防雷保护设备	架空电力线路无 防雷保护设备	
10kV 以下电力线	2.0	4.0	最高缆线到电力线条
35~110kV 电力线（含 110kV）	3.0	5.0	最高缆线到电力线条
110~220kV 电力线（含 220kV）	4.0	6.0	最高缆线到电力线条
220~330kV 电力线（含 330kV）	5.0	—	最高缆线到电力线条
330~500kV 电力线（含 500kV）	8.5	—	最高缆线到电力线条
500~750kV 电力线（含 750kV）	12.0	—	最高缆线到电力线条
750~1000kV 电力线（含 1000kV）	18.0	—	最高缆线到电力线条
供电线接户线	0.6		—
霓虹灯及其铁架	1.6		—
电气铁道及电车滑接线	1.25		—

注：a. 当供电线为被覆线时，光（电）缆也可在供电线上方交越。

b. 当光（电）缆必须在上方交越时，跨越挡两侧电杆及吊线安装应做加强保护装置。

c. 通信线应架设在电力线路的下方位置，且应架设在电车滑接线和接触网的上方位置。

② 光缆接头盒可安装在吊线或电杆上，并应固定牢靠。

③ 光缆吊线应每隔 300~500m，利用电杆避雷线或拉线接地，每隔 1km 左右加装绝缘子进行电气断开。

④ 光缆宜绕避可能遭到撞击的地段，确实无法绕避时，应在可能撞击点采用纵剖硬质塑料管等进行保护。引上光缆应采用钢管保护。

⑤ 光缆在架空电力线路下方交越时，应做纵包绝缘物处理，并应对光缆吊线在交越两侧加装接地装置，或者安装高压绝缘子进行电气断开。

⑥ 光缆在不可避免跨越或临近有火险隐患的各类设施时，应采取防火保护措施。

⑦ 墙壁光缆的敷设应符合下列规定。

a. 墙壁上不宜敷设铠装光缆。

b. 墙壁光缆离地面高度不应小于 3m。



c. 当光缆跨越街坊、院内通路时，应采用钢绞线吊挂，其缆线最低点距地面应符合架空光（电）缆架设高度的规定。

5. 光缆网组网

光缆网是所有业务的传输平台，其架构示意图如图 1-27 所示。光缆网建设应符合国家和企业的相关政策、体制、标准和规范的要求，重点遵循统一规划、分步实施、垂直分层、水平分区的原则进行建设。

(1) 统一规划。光缆网是各业务网的基础，需要统筹考虑技术、网络、光缆网现状、机房、管道等情况，统一规划，以满足各业务网的需求。

(2) 分步实施。光缆网建设应以规划的光缆网结构、容量为基础，根据业务需求、市政规划、战略投资、网络安全优化等分步实施。由于业务需求等引起的接入主干环以上光缆网的建设，必须严格按规划结构、容量建设。

(3) 分层、分区建设。光缆网建设应充分考虑省内各地市经济发展水平、用户密度、业务发展策略等因素，统筹考虑各层面和接入业务需要，分层、分区进行规划和建设。逐步完善核心层、汇聚层、接入层的清晰层次架构。水平分区原则上应依据地理状况、商业楼宇、办公楼、住宅小区、村镇等将覆盖区域细分为多个综合业务接入区进行统筹分析，并逐步实现以综合业务接入区为范围进行业务汇聚。

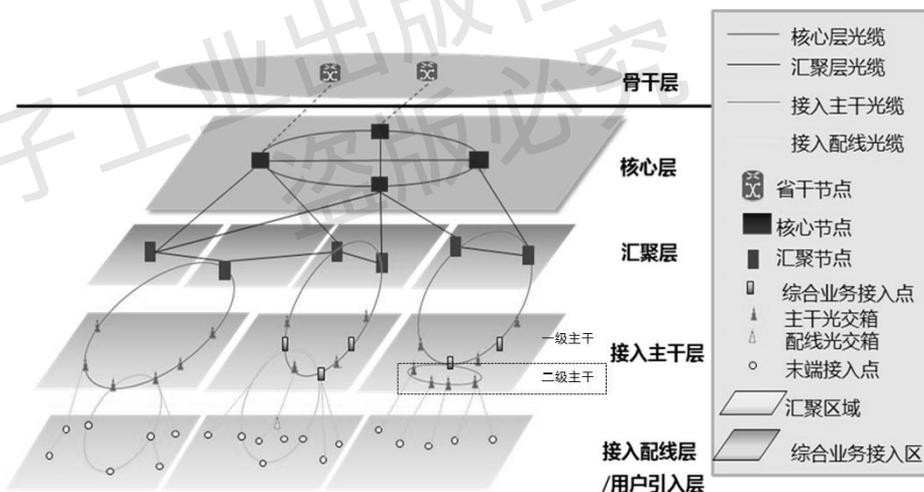


图 1-27 光缆网架构示意图

一个理想的光缆网必须满足整体结构的长期稳定性和区域部分结构的灵活性这两个特点，以适应新业务和技术的飞速发展。

6. 光缆网拓扑结构目标

光缆网应结合网络架构的定位进行建设，光缆网的拓扑应具有灵活性和升级能力，同时应考虑网络安全。网络拓扑结构应逐步完善。

核心层光缆建设目标为网状结构；汇聚层光缆建设目标为以环形结构为主，逐渐向网状演进；接入主干层光缆建设目标为以环形结构为主，以链形结构为辅；接入配线层

光缆建设目标为以星形结构为主，对于有特殊成环组网需求的，采用环形结构，如图 1-28 所示。

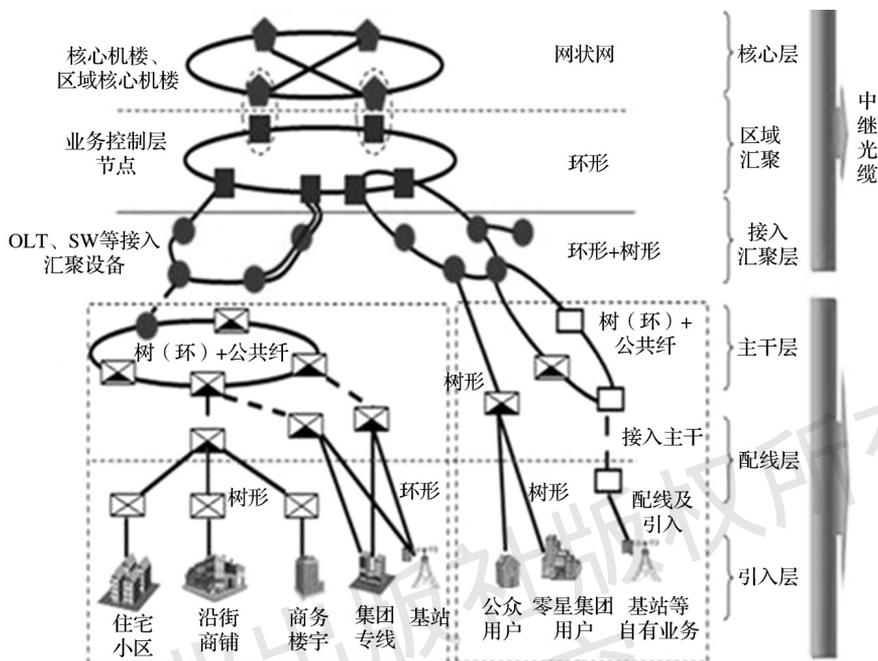


图 1-28 光缆网拓扑结构目标示意图

7. 光缆网建设原则

(1) 核心层光缆建设原则。

核心层光缆为核心节点间光缆。核心层光缆既要考虑核心节点的业务现状，又要考虑有利于业务的发展和网络结构的演变。目前，大多数运营商采用的是环形网向网状网结构过渡，终极目标为网状网。

(2) 汇聚层光缆组网原则。

汇聚层光缆为核心节点与汇聚节点或汇聚节点间的光缆。汇聚层节点通常数量较多，都是重要业务节点。出于对网络安全性和灵活性的考虑，汇聚层光缆网络结构以环形结构为主，并分别接入核心层光缆网络的核心节点，保证每个汇聚层节点上连有两个以上核心节点。

(3) 本地主干光缆组网原则。

本地主干光缆是指从局端至光缆交接点（光交箱或光交接间）间的光缆。目前，本地主干光缆主要采用交接配线方式建设。受城市、地域及需求的影响，常用的本地主干光缆主要有两种结构，分别为环形结构和链（树）形结构。

① 环形结构。

环形结构是指同一条光缆由端局开始，经过多个光缆交接点，再回到同一端局的网络拓扑结构。环形结构的光缆交接点可以是光缆交接箱（光交箱）、光缆交接间等，如图 1-29 所示。

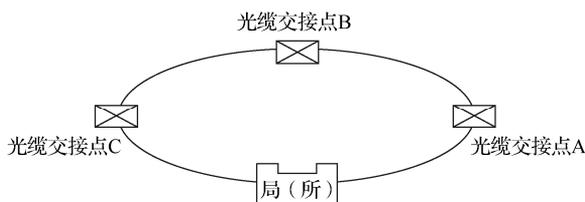


图 1-29 环形拓扑结构示意图

环形结构的优点为灵活性强、安全性高、适合传输设备组环。

a. 灵活性强。

环形结构的每个光缆交接点均根据业务需求分配共享纤芯和独享纤芯，业务可以灵活利用独享纤芯直接回局（端局），也可以通过共享纤芯跳接到其他光缆交接点。

b. 安全性高。

环形结构的每个光缆交接点的光纤均双向上联至同一个端局，整个光缆网的安全性、可靠性有很大的提高，当主干光缆路由上的某个节点出现故障时，通信业务可以在很短的时间内采用手动倒换方式通过另外一个方向倒换，使用户受影响的程度减到最低，甚至无感知。

c. 适合传输设备组环。

每个光缆交接点均由光纤双向上联至同一个端局，适合要求采用环形结构的传输设备组网，传输设备只要接入光缆交接点内就可以实现双物理路由成环。

② 链形结构。

链形结构是指一条光缆由端局开始，经多个光缆交接点而不回到端局的建设方式。光缆交接点可以是光缆交接箱、光缆交接间或模块局等，如图 1-30 所示。



图 1-30 链形拓扑结构示意图

链形结构的优点为配置灵活、成本低、工期短。

a. 配置灵活。

链形结构是点到多点的典型配置结构，纤芯的选择可以结合光缆交接点附近的业务需求进行，随机性较大，不受光缆环纤芯分配的束缚，光缆交接点的设置可以根据业务需求逐步完成，不用一次到位。

b. 成本低。

光缆芯数可变，其投资较环形结构低，并且可以分期建设。

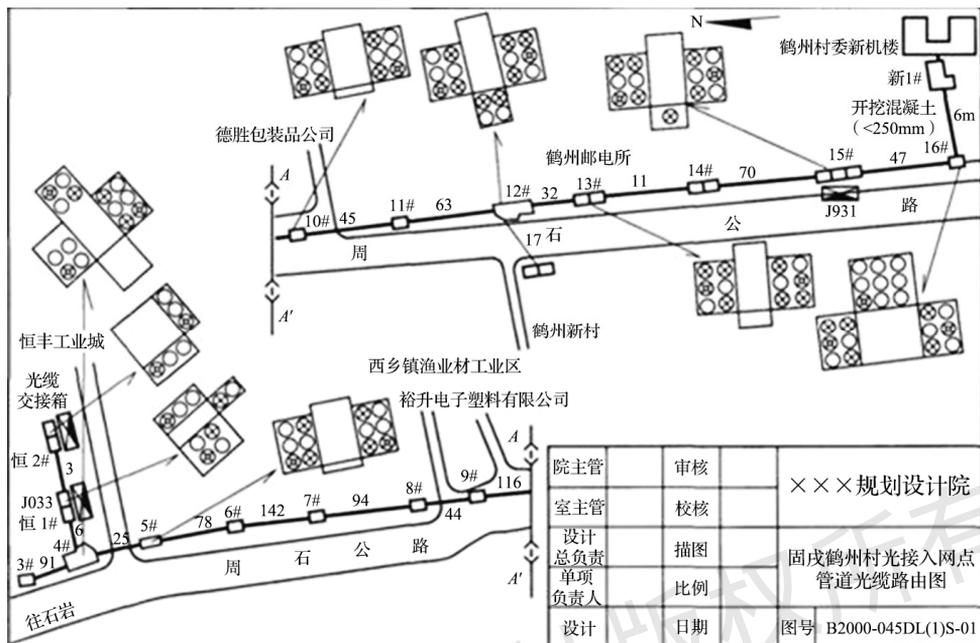
c. 工期短。

链形光缆普遍距离短，建设周期较环形结构短。

1.4.3 光缆施工图分析

1. 管道光缆施工图分析

接入网点管道光缆施工图主要包括主体和辅助两部分，如图 1-31 所示。



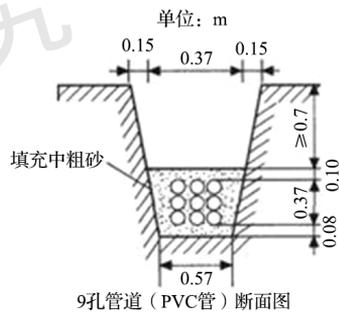
(a) 主体部分

主要工程量表

施工测量	100m	8.17
开挖水泥路面	100m ²	0.12
开挖土石方	100m ²	0.30
回填土方	100m ²	0.24
人孔壁开窗口	处	1
新建小号三通人孔	个	1
新设弯管	根	9
新装引上钢管(墙壁)	根	4
人孔坑抽水(积水)	个	10
墙缘穿孔	个	1
楼层穿孔	个	1
敷设PVC管道(9孔管)	100m	0.06
敷设塑料子管(5孔管)	100m	0.14

图例

	直通型人孔
	扇型人孔
	三通型人孔
	落地光缆交接箱
	两页手孔
	三页手孔



(b) 辅助部分

图 1-31 管道光缆施工图分析

(1) 主体部分。

如图 1-31 (a) 所示, 管道光缆施工图的主体部分主要包括以下 5 项。

① 人(手)孔位置、类型、编号及间距。

如图 1-31 (a) 所示, 在周石公路与往恒丰工业城去的分支处、鹤州邮电所旁去鹤州新村的三岔路口均设有三通型人孔, 分别为 4# 及 12#; 鹤州村委新机楼旁设有局前人孔新 1#, 其余的均为普通的直通型人孔, 编号为 3#、5#、6#、7#、8#、9#、10#、11#、16#; 为降低成本, 在光缆交接箱、电缆交接箱 J033 两处设有两页手孔, 分别是恒 2#、恒 1#, 在 13#、14# 及去往鹤州新村 12# 设有两页手孔, 并在交接箱 J931 处设有三页手孔, 编号为 15#; 人(手)孔间的数字表示它们之间的间距(单位为 m)。这些东西的确定都是依据原有管道条件、建设地段的地理环境, 通过到现场的仔细查看来进行的。



② 光缆交接箱的位置。

在恒 2#处设有光缆交接箱，处于去恒丰工业城的支线旁。新敷设光缆在此光缆交接箱处成端，便于纤芯的进一步分配。

③ 新铺光缆在各人（手）孔中的具体穿放位置及原有管孔占用情况。

在图 1-31（a）中，新铺光缆占用管孔用黑色空心圆圈表示，已占用管孔用圆圈中加“×”表示。粗线条表示新铺光缆路由及新建建筑；16#人孔至新 1#人孔间新铺 PVC 管（9 孔）及 5 孔子管。

④ 落地式交接箱的位置。

恒 2#处设有光缆交接箱，恒 1#处的 J033 交接箱和 15#处的交接箱均为落地式，主要原因是敷设的光、电缆均为管道方式，且按照相关市政部门对于道路环境的要求设置。

⑤ 主要参照物。

主要参照物有道路名称，路旁的主要工厂、公司等，它们的作用是方便施工人员进行准确的施工。

（2）辅助部分。

如图 1-31（b）所示，管道施工图的辅助部分主要包括以下 4 项。

① 9 孔管道（PVC 管）断面图。

该断面图说明 PVC 管的具体施工、埋设方法及技术要求。这是因为这段 6m 长的管道是新建部分，在路由图上无法表示清楚它的具体技术要求，故在旁边另外画图说明。

② 新机楼引上管的布放。

按照国家规范的规定，详细说明引上管的数量（考虑建设期需要）及安装技术要求，这里根据需要安装 9 根引上钢管，本次使用 5 根，另外 4 根预留封存。引上管的长度为机楼墙基至二楼楼顶的距离。这样做的好处是方便施工人员按图施工和进行工程概预算，准确计算工程量。

③ 主要工程量表。

主要工程量表为做施工图预算提供依据，要做到这一点，就要求施工图中的技术说明（或标注）一定要详细全面，因为预算是付款的依据。

④ 图例和标题栏。

图例和标题栏主要是为了便于施工人员看图及了解工程项目名称的。

2. 架空光缆施工图分析

图 1-32 为架空光缆施工图，它主要包括以下 4 部分。

（1）架空杆路和架挂的架空吊线。

在图 1-32 中，P022#、P023#、P024#、P025#、P026#及入局的小段，共计近 160m。在 P022#至 P023#间利用厕所作为支撑而省去了一根电杆。3 次跨越马路，要注意选择合适的杆长，以保证光缆线路的净空高度。在角杆 P025#处，新设了两根高桩拉线，它们跨越马路的宽度是 12m，高桩的高度应视净空要求并结合 P025#的高度来共同决定，一般不应与 P025#一样高，因为必须保证角杆 P025#的拉线有适当的距高比。之所以设立了两根高桩拉线，这是由角杆 P025#的角深来决定的（请读者参阅拉线设计的相关内容）。高桩拉线的运用场合是落地拉线施工遇到了障碍，此处的障碍显然是和平大道这条马路。此外，在

P026#电杆处设立了 V 形终端拉线。

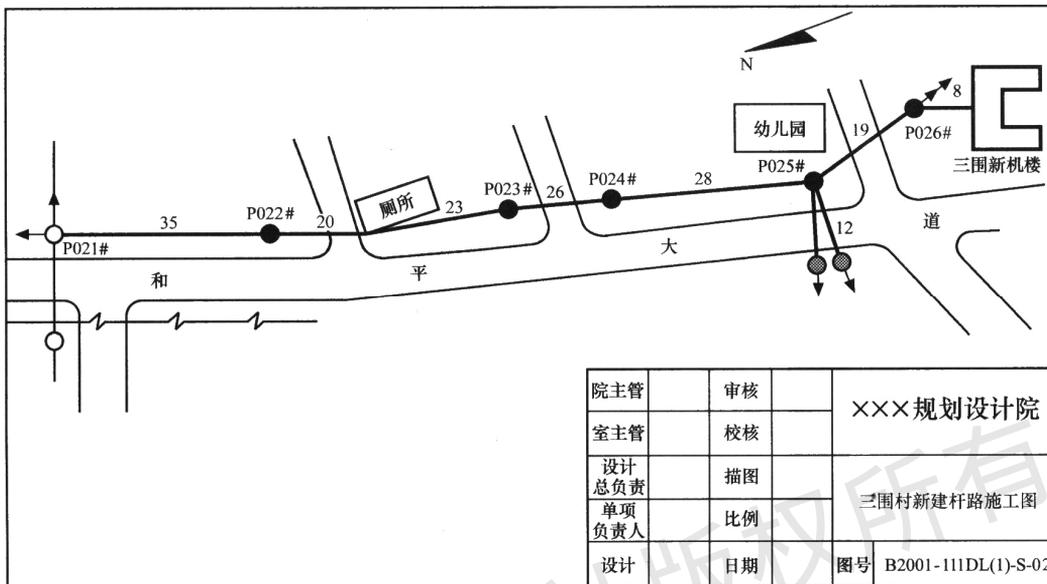


图 1-32 架空光缆施工图

(2) 原有杆路部分。

P021#电杆为原有电杆，原设有一根顺线拉线，因为新杆路的增加，所以必须新做一根拉线，以稳固该电杆。

(3) 新建机楼。

新建机楼为三围新机楼。

(4) 重要参照物。

重要参照物主要有和平大道及原有电力线。

3. 直埋光缆施工图分析

图 1-33 为直埋光缆施工图，它主要包括以下 4 部分。

(1) 新敷光缆线路路由的具体位置及重要参照物。

该直埋光缆线路路由沿新生路平行敷设，途中经过铁路、房屋、草地、碎石堆等，还要经过一间民用临时性房子。它离现有道路中心线的距离为 7.2m。

(2) 地面高程示意曲线。

每隔 50m 的对应位置均标有该点的地面高程、沟底高程及相应的挖深，通过这些数据可以看出地面上地势高低的起伏情况，这就决定了施工时的具体开挖要求（请思考一个问题：这里的地面高程、沟底高程指的是绝对高程还是相对高程？为什么？）。

(3) 光缆埋设时的技术处理要求。

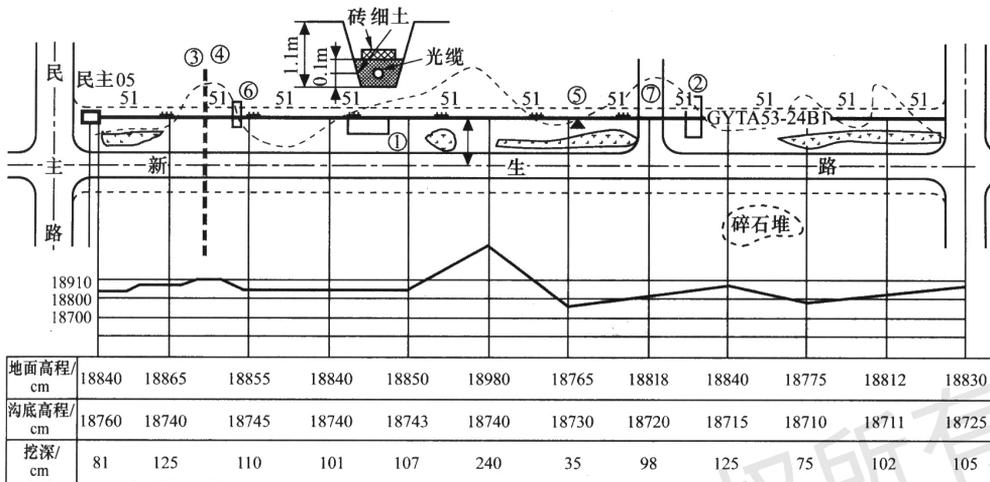
光缆入沟前先填 10cm 厚的细土，放入光缆后，再次填入 10cm 厚的细土，然后铺砖保护，最后才是回土/石并夯实至路平，沟的实际挖深为 1.1m。

(4) 相关部分的技术处理方法。

在图 1-33 中，用①②③④⑤⑥⑦标注了 7 处重点部位的技术处理措施，如穿越铁路、



临时性房屋的方法及已经取得的批准函号，经过屋后如何处理、标石的设置、过马路的保护及回填土的具体要求等。



图例：----- 计划道路边线 ———— 现有道路中心线 单位：m

- 注：① 光缆于屋后通过施工应加装保护装置。
 ② 光缆需要穿越该临时性的小屋且已征得屋主同意，竣工后应速修复。
 ③ 跨越铁路施工问题，已征得XX铁路管理局第XXX号函同意。
 ④ 该铁路交通量大，故在跨越处采用顶管法，具体施工方法步骤见XXX号图纸。
 ⑤ 直埋光缆个别地点距现有地面不足70cm处，回土时应填高至70cm。
 ⑥ 直线路由上标志位置可视实际需要情况，施工时调整放设。
 ⑦ 过马路用钢管或硬塑管保护。

图 1-33 直埋光缆施工图