

光纤的接续与单芯光纤熔接机的使用

实验者：杨亿斌(06325107)

合作者：吴聪(06325096)

(中山大学物理系，光信息科学与技术06级3班 B19)

2009年6月5日

[实验目的]

- 1、了解光缆的结构和学习光纤的表面处理。
- 2、学习光纤切割刀的使用。
- 3、学习单芯光纤熔接机的原理和使用操作。

[实验原理]

一、光纤熔接损耗

光在光纤中传输时会产生损耗，这种损耗主要是由光纤自身的传输损耗和光纤接头处的熔接损耗组成。光缆一经订购，其光纤自身的传输损耗也基本确定，而光纤接头处的熔接损耗则与光纤的本身及现场施工有关。

影响光纤熔接损耗的因素较多，大体可分为光纤本征因素和非本征因素两类。

1、光纤本征因素是指光纤自身因素，主要有四点。

- (1) 光纤模场直径不一致；
- (2) 两根光纤芯径失配；
- (3) 纤芯截面不圆；
- (4) 纤芯与包层同心度不佳。

其中光纤模场直径不一致影响最大，按 CCITT(国际电报电话咨询委员会)建议，单模光纤的容限标准如下：

模场直径： $(9\sim 10\ \mu\text{m}) \pm 10\%$ ，即容限约 $\pm 1\ \mu\text{m}$ ；

包层直径： $125 \pm 3\ \mu\text{m}$ ；

模场同心度误差 $\leq 6\%$ ，包层不圆度 $\leq 2\%$ 。

2、影响光纤接续损耗的非本征因素即接续技术。

(1) 轴心错位：单模光纤纤芯很细，两根对接光纤轴心错位会影响接续损耗。当错位 $1.2\ \mu\text{m}$ 时，接续损耗达 0.5dB 。

(2) 轴心倾斜：当光纤断面倾斜 1° 时，约产生 0.6dB 的接续损耗，如果要求接续损耗 $\leq 0.1\text{dB}$ ，则单模光纤的倾角应为 $\leq 0.3^\circ$ 。

(3) 端面分离：活动连接器的连接不好，很容易产生端面分离，造成连接损耗较大。当熔接机放

电电压较低时，也容易产生端面分离，此情况一般在有拉力测试功能的熔接机中可以发现。

(4) 端面质量：光纤端面的平整度差时也会产生损耗，甚至气泡。

(5) 接续点附近光纤物理变形：光缆在架设过程中的拉伸变形，接续盒中夹固光缆压力太大等，都会对接续损耗有影响，甚至熔接几次都不能改善。

另外，接续人员操作水平、操作步骤、盘纤工艺水平、熔接机中电极清洁程度、熔接参数设置、工作环境清洁程度等均会影响到熔接损耗的值。

二、光纤熔接机原理

用熔接法制做固定接头，在实际应用最普遍，可以在室内或者野外使用，是光通信干线中光纤固定连接的主要方法。它用加热的方法将光纤熔融结合在一起。

加热和熔化的方法有三种：第一种是电弧熔接，它用电极高压放电的方法加热光纤，使之熔融连接，电弧放电和光纤的对准采用微机控制，实现自动化作业；第二种是氢焰熔接，用于一些特殊的场合入海底光缆的熔接，其特点是接头强度高，但火焰的控制较为困难；第三种是激光熔接，采用 CO_2 激光加热熔接光纤，其特点是加人环境非常洁净，接头强度高，但设备昂贵。

本实验采用第一种，即电弧熔接法，使用住友公司的 ETK9724098 Type-36 光纤熔接机。

光纤熔接机由 4 部分组成：(1) 光纤的准直与夹紧机构；(2) 光纤的对准机构；(3) 电弧放电机机构；(4) 电弧放电和电机驱动的控制机构。

(1) 光纤的准直与夹紧机构

光纤的准直与夹紧结构由精密 V 型槽和压板构成。精密 V 型槽的作用是使一对光纤不产生轴偏移；压板使光纤固定在 V 型槽内。然而，即使如此，置于 V 型槽内的光纤，还存在者微小的轴向偏移。消除这个轴向偏移的一个方法是所谓的自调芯作用。它是指：在放电加热时，光纤表面将产生张力。这种表面张力将使微小的轴向偏移得到纠正。

(2) 光纤的对准机构

要对准两条光纤，每条光纤需要 6 个自由度。将光纤在准直与夹紧机构内的一段光纤作为对象分析，并把光纤的放置方向定为 Z 方向，即有以下 6 个自由度影响光纤的位置：X, Y, Z 三个方向的平移自由度和绕 X, Y, Z 三个方向旋转的自由度。

由于熔接光纤有一个前提是两条光纤的芯径大小相等，所以不需要绕 Z 方向旋转的自由度。由于光纤的准直与夹紧机构的精密 V 型槽和压板是平行的，只要光纤是能精确的放进 V 型槽内，即两光纤可看作是平行的。这样就又省去了 X, Y 两个方向上的旋转自由度。而且转动光纤也会带动熔接机外的光纤，这样会造成光纤的弯曲，甚至会造成光纤的断裂或损坏。综合以上各个因素得，对光纤的调整机构只有三个平动的自由度。

为了实现这一光纤的对准过程，两个 V 型槽的基座均被固定在三维驱动机构上，使 V 型槽可以在 X、Y、Z 三个方向上平动。驱动机构由丝杆和步进电机构成，精度很高。一般为每步 $0.1\mu\text{m}$ ，更精密的达到 $0.01\mu\text{m}$ 。调整机构将根据对准机构的指令调整光纤的相对位置，实现光纤的对准。

住友公司的 ETK9724098 Type-36 光纤熔接机使用的光纤对准方法为纤芯直视法。自动纠正偏差，进行纤芯对准。

(3) 电弧放电机构

熔接机的电弧放电有两跟电极完成。电极尖端加工成 30° 至 40° 角，电极之间的间隙为 $1 \sim 2\text{mm}$ 。熔接机的放电电流和放电时间均可以调节。

[实验仪器]

ETK9724098 Type-36 光纤熔接机、光纤切割刀、光纤剥线钳、剪刀、光纤、酒精、镊子、镜头纸等。



图 1 住友公司 ETK9724098 Type-36 型光纤熔接机

[实验步骤及现象]

- 1、使用光纤剥线钳一次性剥除 20mm 到 30mm 长的光纤被覆，得到一段裸光纤；注意剥除时光纤不能缠绕在手指上。
- 2、用蘸有酒精的镜头纸擦净光纤，去除光纤表面的被覆残留；两次湿擦，两次干擦。
- 3、将清洁后的裸光纤放置在光纤切割刀中较小的 V 型槽，保持光纤与刀片垂直，切断长按书上建议取为 16mm；放置好光纤后合上 V 型槽上的固定盖把光纤固定，再合上切割刀顶盖，推动切割刀切断光纤；

打开切割刀顶盖后先清除光纤碎片，再取出光纤；把切好后的光纤拿到显微镜下观察其端面，并用 CCD 拍摄端面图片，如下

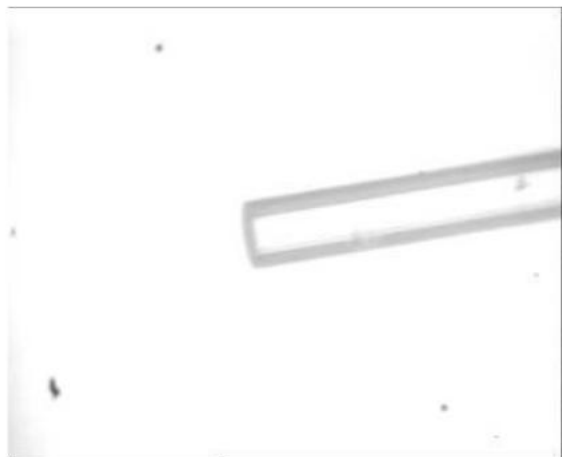


图 2 光纤端面图

- 4、重复练习上述步骤至熟练。
- 5、打开 ETK9724098 Type-36 型光纤熔接机的顶盖，把 LCD 显示屏竖起，接通熔接机的电源，把开关置于 AC 档；熔接机启动并自检完毕后蜂鸣器提示，屏幕上显示“熔接方式菜单”。
- 6、设定“熔接”为“自动方式”；“熔接条件”的第一个副菜单为光纤类型选择，其中 SMF 表示单模光纤，MMF 表示多模光纤，DSF 表示色散位移光纤，SPL 表示特殊光纤，ER 表示掺饵光纤；实验中使用单模光纤，故设定为“SMF”；第二个副菜单为熔接部位选择，第三个为光纤套管长度设定，实验中这两个选项根据光纤类型自动设定，不需要改变，其中熔接部位默认为纤芯，光纤套管长度默认为 60mm；“选项”的第一个副菜单为放电时间设定，第二个为数据存储方式选择，这两个选项也是根据光纤类型默认设定的，实验中不需改变；因为选择了“自动方式”熔接，故“调整光纤”项可以不用调整。
- 7、熔接机的参数调整完毕、光纤端面处理好后，将处理好的光纤放置于熔接机的 V 型槽中；先打开防风盖，找到位于熔接机顶部中间位置的 V 型槽和光纤夹；再将光纤夹顶钮向后推，松开光纤夹；抬起光纤夹可同时抬起裸光纤夹和包层光纤夹；将光纤放入 V 型槽，使光纤端面悬伸至熔接部位上方；光纤大致位于 V 形槽和电极的中间；包层末端和熔接机上的切断长标记对准；轻轻将光纤夹压片压下，使得光纤包层夹压紧光纤包层，然后放下裸光纤夹，使光纤嵌入 V 形槽中；同样处理好另外一条光纤后关闭防风盖。
- 8、按下“SET”键，熔接机开始自动熔接：首先，熔接机将调整光纤端面间距，从屏幕上可以看到两根光纤的端面慢慢接近；接着，熔接机会使用瞬间电弧放电清除端面灰尘，然后再作端面检查，若仍然发现有灰尘，熔接机会发出警告，并停止熔接，这时需要取出光纤，重新清洁并切平；如果一切正常，熔接机将对两根光纤在水平和垂直两个方向进行准直和对准，在屏幕上可以看到两根光纤的轴心慢慢

重合，画面互换（即调整方向互换）后再一次调整，这时两根光纤在水平和垂直两个方向都重合，对准完毕；接下来电弧放电，高温熔化光纤端面进行熔接，屏幕上闪现一片白光，之后出现熔接好的光纤的画面。

- 9、屏幕提示“请开防风盖”，保存熔接结果后打开防风盖取出光纤；再将光纤放置在显微镜下观察，没有发现断层，或任何熔接的痕迹，熔接效果很好；从熔接机内存读出熔接数据，记录如下：

表格 1 熔接结果数据

SMF Standard 00792			
接头盒序号	100	放电强度	0017step
光纤序号	794	张力	0200g
损耗	00.02dB	偏心量（左）	00.10 μm
切断角（左）	00.29deg	偏心量（右）	00.18 μm
切断角（右）	00.16deg	纤芯（左）	4.38 μm
变形量	0deg	纤芯（右）	4.08 μm
偏轴量	00.28 μm		

- 10、将热保护套管套入光纤并移动到熔接点，注意保持光纤拉直；再把光纤有套管部分轻轻放置于熔接机的加热补强器，按下“HEATER SET”开始加热，30s后加热补强器自动关闭，稍待冷却后再取出光纤。熔接好的光纤如下图：



图 3 熔接好的光纤

- 11、关闭熔接机电源，清理台面。

[实验过程总结]

- 1、第一次实验时左光纤半径为 $4\mu\text{m}$ ，右光纤半径为 $9\mu\text{m}$ ；损耗量是由公式算出来的，偏轴量为零时，即使光纤的半径不一致，损耗量依然为零，可能公式里面默认两根光纤半径一样。
- 2、有时熔接机有问题，显示“亮度有误”，无法工作，需重启。

[思考题]

1、了解光缆的结构及相应尺寸：纤心，包层，涂层（半透明保护层），外套管，加强丝等。

答：纤芯位于光纤中心，直径 $2a$ 为 $5\sim 75\mu\text{m}$ ，作用是传输光波。包层位于纤芯外层，直径 $2b$ 为 $100\sim 150\mu\text{m}$ ，作用是将光波限制在纤芯中。纤芯和包层即组成裸光纤，两者采用高纯度二氧化硅 (SiO_2) 制成，但为了使光波在纤芯中传送，应对材料进行不同掺杂，使包层材料折射率 n_2 比纤芯材料折射率 n_1 小，即光纤导光的条件是 $n_1 > n_2$ 。一次涂敷层是为了保护裸纤而在其表面涂上的聚氨基甲酸乙酯或硅酮树脂层，厚度一般为 $30\sim 150\mu\text{m}$ 。套层又称二次涂覆或被覆层，多采用聚乙烯塑料或聚丙烯塑料、尼龙等材料。经过二次涂敷的裸光纤称为光纤芯线。光纤裸纤一般分为三层：中心高折射率玻璃芯（芯径一般为 $50\mu\text{m}$ 或 $62.5\mu\text{m}$ ），中间为低折射率硅玻璃包层（直径一般为 $125\mu\text{m}$ ），最外是加强用的树脂涂层。

2、什么因素可能影响光纤的接续损耗？如何减少插损？

答：影响光纤熔接损耗的因素较多，大体可分为光纤本征因素和非本征因素两类。

A. 光纤本征因素是指光纤自身因素，主要有四点。

- (1) 光纤模场直径不一致；
- (2) 两根光纤芯径失配；
- (3) 纤芯截面不圆；
- (4) 纤芯与包层同心度不佳。

其中光纤模场直径不一致影响最大，按 CCITT(国际电报电话咨询委员会)建议，单模光纤的容限标准如下：

模场直径： $(9\sim 10\mu\text{m}) \pm 10\%$ ，即容限约 $\pm 1\mu\text{m}$ ；

包层直径： $125 \pm 3\mu\text{m}$ ；

模场同心度误差 $\leq 6\%$ ，包层不圆度 $\leq 2\%$ 。

B. 影响光纤接续损耗的非本征因素即接续技术。

(1) 轴心错位：单模光纤纤芯很细，两根对接光纤轴心错位会影响接续损耗。当错位 $1.2\mu\text{m}$ 时，接续损耗达 0.5dB 。

(2) 轴心倾斜：当光纤断面倾斜 1° 时，约产生 0.6dB 的接续损耗，如果要求接续损耗 $\leq 0.1\text{dB}$ ，则

单模光纤的倾角应为 $\leq 0.3^\circ$ 。

(3) 端面分离：活动连接器的连接不好，很容易产生端面分离，造成连接损耗较大。当熔接机放电电压较低时，也容易产生端面分离，此情况一般在有拉力测试功能的熔接机中可以发现。

(4) 端面质量：光纤端面的平整度差时也会产生损耗，甚至气泡。

(5) 接续点附近光纤物理变形：光缆在架设过程中的拉伸变形，接续盒中夹固光缆压力太大等，都会对接续损耗有影响，甚至熔接几次都不能改善。

C. 其他因素的影响。

接续人员操作水平、操作步骤、盘纤工艺水平、熔接机中电极清洁程度、熔接参数设置、工作环境清洁程度等均会影响到熔接损耗的值。

减少接头熔接损耗在工程中有如下方法：

(1) 光纤在某点断开后断开处的模场直径是相同的，因而在断开处熔接可使光纤模场直径对熔接损耗的影响最小，所以必须要求光缆生产厂家选用同一生产批次的优质名牌裸光纤按订货长度连续生产，根据规定的盘长将光缆依此断开绕盘，对绕好的缆盘连续编号并分清 A、B 端（断开处在前一盘上若为 B 端则在紧连的后一揽盘上就为 A 端），不得跳号或错乱，敷设时按确定的路由根据统盘的编号顺序依次布放且前一盘缆的 B 端要和后一盘绕的 A 端相连，从而保证能在断开处熔接光纤，避免了因光纤模场直径不一致而导致光纤接头熔接损耗偏大的缺点。

(2) 敷设光缆时必须采用牵引速度不大于 $20\text{m}/\text{min}$ 的无级调速的机械牵引法，牵引力不得超过光缆允许张力的 80%，瞬间最大牵引力不超过 100%，牵引力必须施加在光缆中的加强件上，架设后光缆受到最大负载时产生的伸长率应小于 0.2%，为避免牵引过程中光纤受力和扭曲，在必要时需制作光缆牵引端头，施工中光缆的弯曲半径应大于光缆直径的 20 倍，光缆必须从统盘上方放出并保持松弛弧形且无扭转、严禁打小圈弯折扭曲等，从而尽可能地降低光缆中光纤受损伤的几率，避免因光缆端部的光纤受损伤而使接头熔接损耗增大。

(3) 应有训练有素的接续施工人员来完成光纤的接续工作，要严格接续工艺流程边熔接边测量光纤接头熔接损耗，熔接损耗不合要求的接头必须从新熔接，反复熔接的次数以 3—4 次为宜，连续熔接 3 次后仍改善不大时，在排除熔接机原因后一般只要达到 3 次熔接中的最低值即可，不要反复熔接以免过多消耗光纤给盘纤带来不良影响。盘绕在接线包储纤盘上的光纤余长应不小于 60cm，盘绕的圆圈半径要尽可能大，接续时若同一根光纤上前一个接头的熔接损耗为负值，则紧接着的后边一个接头的熔接损耗值可大些，若前边接头的熔接损耗值较大，则紧接着的后边一个接头的熔接损耗值须较小或为负值，为避免光缆端部的光纤受损而影响熔接损耗，在做光缆熔接准备工作时可把光缆头部多截去一些。

(4) 接续光纤须在整洁的环境中进行，如在工程车或小型帐篷内，在多尘及潮湿的环境中不宜进行熔

接。光纤接续部位及接续工具必须保持清洁干燥，制备光纤断面时必须先擦拭后切割，制备好的光纤断面必须清洁不得有污物，且不宜长时间暴露在空气中更不能让其受潮。光纤的断面切割要整齐，且两个断面相互间倾斜角要小于 0.3 度。将光纤放置到熔接机的 V 型槽中时动作要轻巧，这是因为对纤芯直径 10 μm 的单模光纤而言，若要熔接损耗小于 0.1dB，则光纤轴线的径向偏移要小于 0.8 μm 。

(5) 光缆进入接线包的两端必须固定牢靠，以免挂放接线包时因光缆扭转而使光纤接头位置错动，导致接头处损耗测量值偏大。在熔接施工中常发现熔接时，在 1550nm 窗口下测得的熔接损耗值符合要求，但封好接线包后复测接头处损耗的值却偏大，这通常是由光纤接头位置错动引起的，此时可改在 1310nm 窗口复测，若测量值偏小则是光纤接头位置错动，须重新盘绕光纤余长，若偏大则是熔接问题，须重新熔接，为避免这种现象，须用不干胶将光纤接头和光纤余长牢固地固定在储纤盘板上。接线包两侧的光缆余长的盘绕直径直控制在 40cm 左右，不宜太小，以免统中光纤因过分扭曲而受损。

3、光纤熔接的种类：光纤熔接，V 型槽，毛细管，套管等及其特点。

答：V 型槽熔接法：

底板放一精细的 V 型槽，把已处理好的光纤从两端置于 V 型槽，连接于中间，加入少量 匹配液，并用粘接剂固定光纤和盖板及底板，也可用机械法加固。

特点：

a、当光纤外径有差别时，在外力作用下，V 型槽将发生微量形变，可以补偿由于光纤外径存在差异而产生的对准误差。

b、由于在同一条 V 型槽中定位，两根光纤的轴向精度得以充分保证，没有轴向误差

c、采用截断法能获得高质量的端面，使光纤实现良好接触，基本上消除光散射。

d、在制作接头时，芯件的 V 型槽中放有匹配液，用来消除光纤连接时的菲涅尔反射损耗，减少光的后向反射。

套管熔接法：

这一类固定接头的结构原理与活动连接器完全一致，它的主要部分也是插针和套筒。插针端面要现场粘接、研磨，端面之间要加注匹配液。这种方法现场操作较快捷方便。在插针、端面之间填充匹配液之后，菲涅耳反射得以消除，插入损耗可以做到 0.1dB 以下，回波损耗达到 45dB 以上。

毛细管熔接法：

毛细管固定接头一般采用玻璃材料制作。它的接续原理是：奖励在那个根处理好的光纤，从两头穿入毛细管内，利用其精密的内孔使两根光纤纤芯对准；在两光纤端面之间加入匹配液，消除菲涅尔反射，降低插入损耗，减少后向反射；用机械方法使光纤紧固。光纤包层外径与毛细管内径之差控制在 $1\mu\text{m}$ 以内。

特点：毛细管式的固定接头均需使用匹配液。对于同一种光纤，当光纤外径于毛细管内径有差别，或对同一根毛细管，当光纤外径不同时，接续损耗的理论计算值和实际测试值之间存在差别，有时差别还比较大。

4、光纤熔接机的基本原理。

答：用熔接法制做固定接头，在实际应用最普遍，可以在室内或者野外使用，是光通信干线中光纤固定连接的主要方法。它用加热的方法将光纤熔融结合在一起。

加热和熔化的方法有三种：第一种是电弧熔接，它用电极高压放电的方法加热光纤，使之熔融连接，电弧放电和光纤的对准采用微机控制，实现自动化作业；第二种是氢焰熔接，用于一些特殊的场合入海底光缆的熔接，其特点是接头强度高，但火焰的控制较为困难；第三种是激光熔接，采用 CO_2 激光加热熔接光纤，其特点是加人环境非常洁净，接头强度高，但设备昂贵。

光纤熔接机由 4 部分组成：(1) 光纤的准直与夹紧机构；(2) 光纤的对准机构；(3) 电弧放电机构；(4) 电弧放电和电机驱动的控制机构。

(1) 光纤的准直与夹紧机构

光纤的准直与夹紧结构由精密 V 型槽和压板构成。精密 V 型槽的作用是使一对光纤不产生轴偏移；压板使光纤固定在 V 型槽内。然而，即使如此，置于 V 型槽内的光纤，还存在者微小的轴向偏移。消除这个轴向偏移的一个方法是所谓的自调芯作用。它是指：在放电加热时，光纤表面将产生张力。这种表面张力将使微小的轴向偏移得到纠正。

(2) 光纤的对准机构

要对准两条光纤，每条光纤需要 6 个自由度。将光纤在准直与夹紧机构内的一段光纤作为对象分析，并把光纤的放置方向定为 Z 方向，即有以下 6 个自由度影响光纤的位置：X, Y, Z 三个方向的平移自由度和绕 X, Y, Z 三个方向旋转的自由度。

为了实现这一光纤的对准过程，两个 V 型槽的基座均被固定在三维驱动机构上，使 V 型槽可以在 X、Y、Z 三个方向上平动。驱动机构由丝杆和步进电机构成，精度很高。一般为每步 $0.1\mu m$ ，更精密的达到 $0.01\mu m$ 。调整机构将根据对准机构的指令调整光纤的相对位置，实现光纤的对准。

(3) 电弧放电机构

熔接机的电弧放电有两跟电极完成。电极尖端加工成 30° 至 40° 角，电极之间的间隙为 $1 \sim 2mm$ 。熔接机的放电电流和放电时间均可以调节。