

# 空间光-单模光纤主动耦合稳系统

上海昊量光电的 AUT-FiberLock 空间光-单模光纤主动耦合稳定系统是一套将空间光主动耦合锁定进单模光纤的简单装置。此装置简化了初始耦合，并且优化了耦合效率，主动补偿机械漂移。

## 1 光纤耦合原理

当激光束从单模光纤出射，它会形成一个锥形发散，就需要使用准直透镜产生准直光束输出。相反的，如果要把光束耦合进单模光纤，也必须借助一个聚焦透镜生成类似的锥形光。根据光纤的特性，光强最大的最理想的光锥的几何结构是固定的。因此要达到理想的耦合效率，入射光束必须与理想光锥最大化重合。在(X; Y; Z)的坐标系中，其中 z 轴就相当于光纤的光轴，光锥的重叠将由六个自由度进行表示：

光锥的收敛角

束腰在 Z 轴向上的位置量

束腰在 X, Y 轴向上的位置量

光锥在 X, Y 轴向上的旋转量

理想对准耦合的光学结构的示意图如图 1：

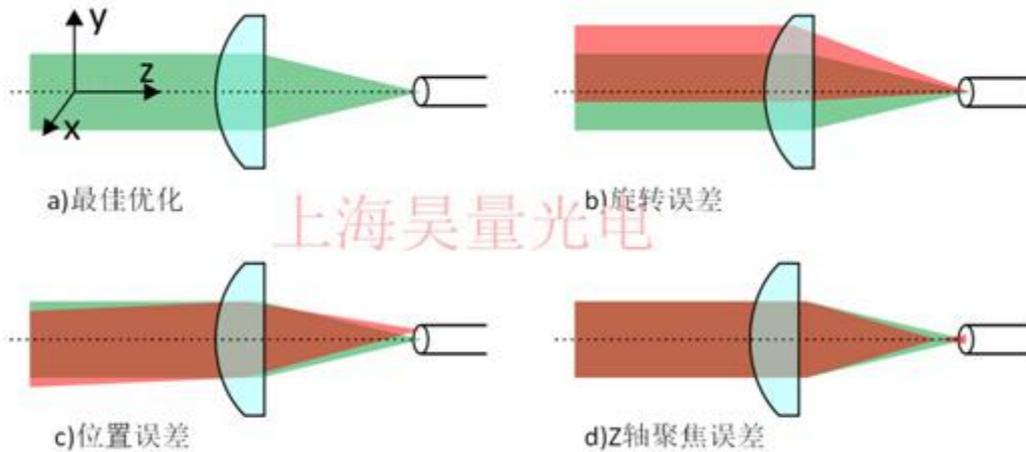


图 1: 光纤耦合误差的不同种类

收敛角是由光束直径与聚焦透镜的焦距决定的，束腰在 Z 轴向上的位置可通过改变光纤纤芯头与透镜距离来解决。图 1d 描述了这两个自由度误差。

为了控制其余四个自由度，我们需要一个特殊的光纤座用来倾斜，翻转，移动光纤头。透镜和光纤架必须固定其一，改变入射光束的位置和角度（如图 1b 和 1c）。不管怎样，必须保证亚微米精度，也就是说需要高精度机械镜架与光纤调整架。此外，这些组件必须具有高度的稳定性，以减小热膨胀造成的漂移与耦合效率下降。

今天，空间光-单模光纤耦合在光学实验室与工业领域都有广泛应用，但长时间保持最佳的耦合效果与耦合效率仍是一个巨大的挑战。

## 2 主动光纤耦合

当被动的稳定不可持续，就需要使用主动稳定的方式来满足性能需求。这种主动稳定装置包括一个致动器，例如压电扫描反射镜，和一个反馈信号。

如图 2 所示，上海昊量光电 FiberLock 使用了一个放置在聚焦透镜前的含单反射的致动器。倾斜这个反射镜就能改变光束腰的 X 或 Y 方向的位置。反馈信号来自光纤或内置在光纤 Tap 的激光强度测量装置。

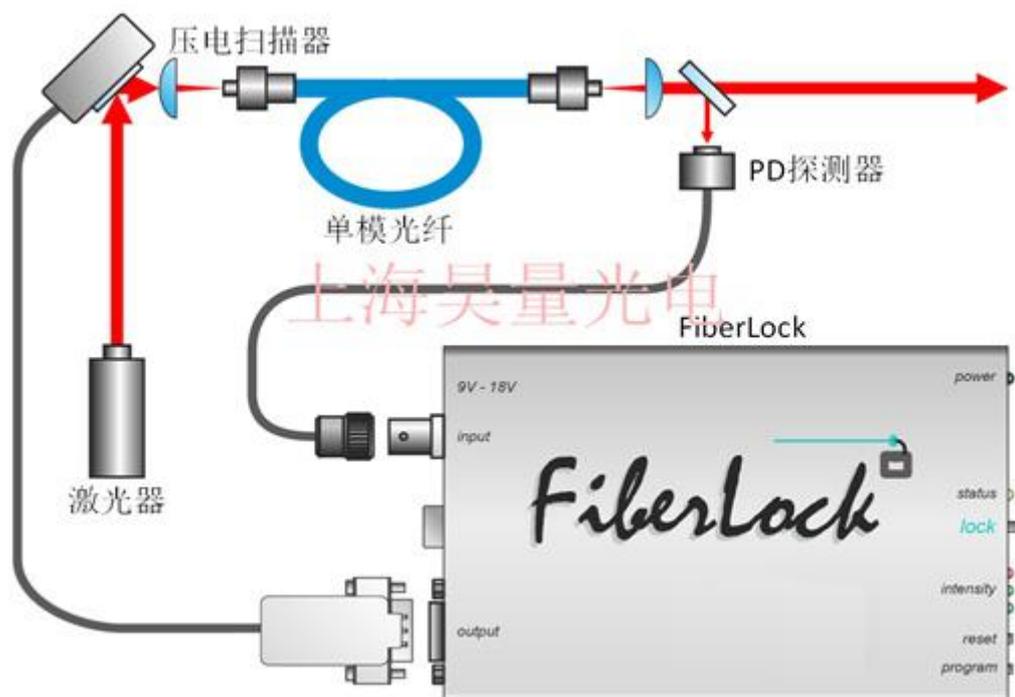


图 2 FiberLock 控制器连接一个主动压电扫描镜和光纤后的强度信号，组成一个反馈回路。

这个简单装置有三个作用：

1. 它帮助了光束到光纤的初始耦合
2. 它极大简化了耦合效率的优化过程
3. 它保持了耦合稳定，补偿了光束和光纤调整架的漂移

实际上，FiberLock 甚至能够弥补激光器的强度噪声，2.4 有详细描述。

## 2.1 初始耦合

当第一次耦合进光纤时，不得不盲目的扫描对准不同的自由度。仅当探测到耦合进的一定的光通量，我们才会有开始优化的反馈信号。

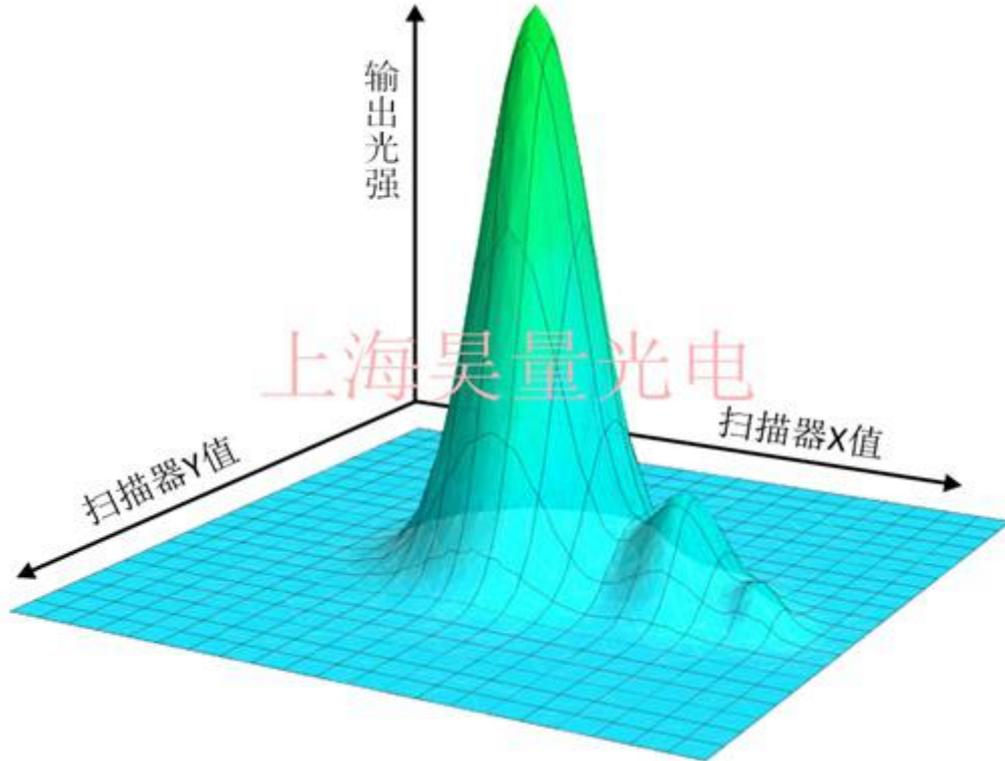


图3 致动器的角度扫描提供耦合效率的三维可视化图像

使用一个活动压电驱动反射镜，足够快的盲目扫描实时显示耦合效率与反射镜位置的对应三维图像，如图3所示。由于致动器的扫描范围比光纤内径高1或2个数量级，所以初始的粗对准就变得非常简单。另一方面，我们获得了光束轮廓上和影响耦合效率的装置配件上的信息。

## 2.2 稳定

一旦找到最大的耦合效率，FiberLock 就可以锁定在这一最大效率点上。在锁定模式下，活动反射镜在光束的  $x$  和  $y$  位置添加了小幅调制，光纤后的强度输出提供了必要的反馈：如果调制表现在的强度上，说明束腰没有准直在光纤纤芯上，主动反射镜就会纠正它。一旦光束射入光纤中心，输出强度的调制就消失了。（一个一维锁相调节器总是会引起输出信号的调制，然而，二维情况下，无调制输出是可行的。）

光纤尖端位置或入射光束的任何漂移现在都能完美补偿。即使锁定点消失了，FiberLock 的搜索模式也可以快速扫描致动器的范围，恢复到锁定模式的强度峰值上。打开自动重锁功能，这种扫描就会自动启动。

## 2.3 优化锁定

在典型的光学装置中，在调节六个自由度同时进行独立的光纤耦合优化是不可能的。例如，聚焦可以通过移动  $z$  轴上的聚焦透镜来调节，然而即使再高精度的滑轨也会受限于加工精度，不能完美对准光轴。结果，透镜也会在  $X$  和  $Y$  方向上移动，这就会产生束腰位置的偏移。正是这种交叉相关性，导致无法进行每个自由度的独立优化，它们总会对其余自由度的优化产生干扰，不得不反复进行，这就使光纤耦合优化非常困难，也会花费更多时间。

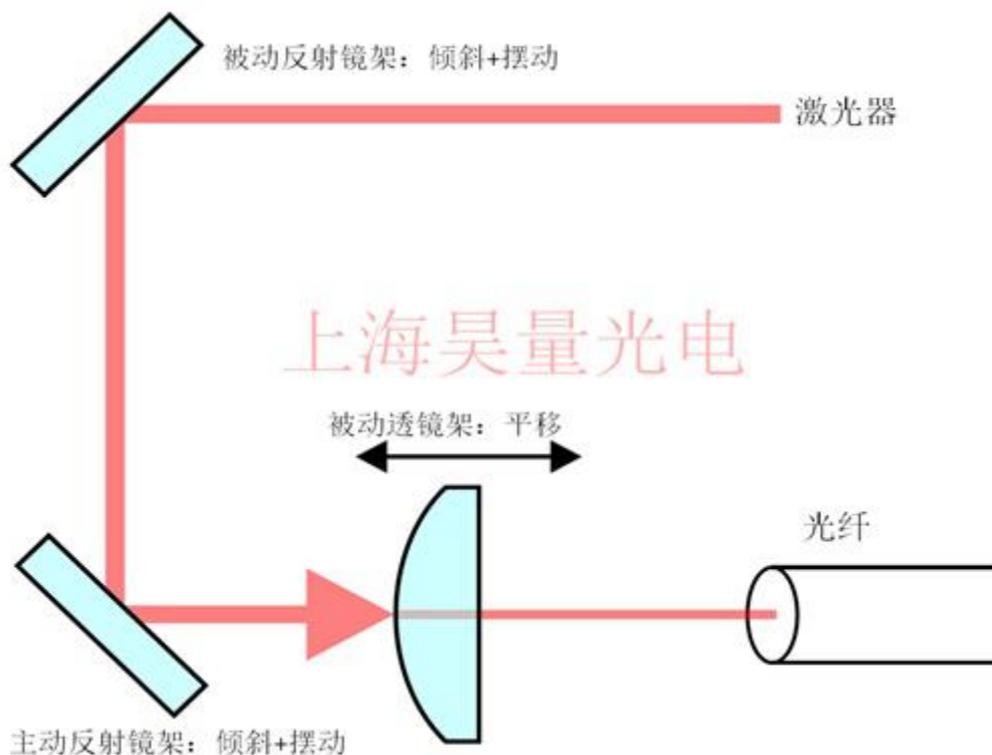


图4 光学装置：活动反射镜架控制束腰的位置。其它参数可以手动调整。

由于 FiberLock 仅能稳定两个自由度，仍然需要手动优化（如图4）。但当开启 FiberLock 后，手动调节就变得极其简单：首先，需要调节的变量大大减少；其次，有缺陷的光机械引入的交叉相关性也被大量移除。例如，如果光纤尖端沿 z 轴移动，X 和 Y 方向上的漂移就被自动补偿掉，输出能量纯粹只显示我们关心的效果。

FiberLock 的调节器很容易快速跟随手动调整，使所有余下的自由度都能够独立，快速，方便的优化。

## 2.4 稳功率模式

FiberLock 控制耦合效率的能力带来了一个有趣的可能性：如果我们的目标是保持耦合进光纤的功率恒定，而不是最大值，FiberLock 可以担当一个“Noise Eater”。例如，如果激光有强度波动，FiberLock 可以通过主动调谐耦合效率进行强度补偿。用这种方法，一个 FiberLock 和单模光纤的组合可以看做模式清洁剂。光束轮廓的畸变，强度噪声，指向波动都能被滤除，当然代价是损失一部分功率。

## 2.5 总结

本质上，主动光纤耦合与手动对准原理是相同的：光纤输出作为调节光机械的反馈信号。然而，FiberLock 能够更快，更可靠，特别是更连续。一旦锁定，耦合将永远保持稳定。对于持续数天运行不加干涉的光学实验以及非手动的光纤耦合激光的工业应用都是极其重要的。此外，在需要频繁更换光学机构的应用中，FiberLock 的扫描与搜索功能是非常有价值的。

FiberLock 可以不连接电脑，只依靠控制器上简单有效的用户面板操作。当然可视化操作和高级参数调整需要连接电脑。最后，通过对准一个光学元件优化一些高质量信号的需要会更加普遍，还有半导体激光器的生产中定位透镜位置变化及光参量放大器中的光束对准。

您可以通过我们的 [www.auniontech.com](http://www.auniontech.com) 了解更多的产品信息，或直接来电咨询 021-34241962