

新型高精度光纤微调装置的设计

刘桂雄 钟先信 宋立 屈超容

(重庆大学光电精密机械研究所, 重庆 630044)

摘要 本文介绍了新型高精度光纤微调装置的设计,通过确定最佳设计指标,使其结构更合理,成本更低廉;每一维自由度的调节在其空间上正交独立,操作方便;径向微调量可以达到 $0.1\mu\text{m}$ 以下,具有较高调节精度。

关键词: 微调机构; 高精度; 光纤耦合

1 引言

光纤微调装置是光纤通讯、光纤传感等方面的必备器件,作为光纤耦合器具,至少应具备以下三个特点:高精度(单模光纤的纤芯直径在几个微米,所以微调器的调节能至少应达到 $1\mu\text{m}$ 以下;稳定可靠(即不应因操作时及其它环境的微振动而产生明显的偏摆和漂移现象);使用方便(在调节光纤的空间位置时,按照一定的操作顺序,逐个调节每一个自由度到最佳位置,最后使光纤对准,而这必须由结构来保证)。

目前,美国新巷公司、上海机修器厂、巴蜀仪器厂生产的光纤五维微调器在水平的 x 、 y 方向及垂直的 e 方向的微调量为 $(1\sim 2)\mu\text{m}$ 级,但操作麻烦、不易自锁,特别是两个转动自由度的调节的支点离光纤头部较远,在调转动时光纤头部产生牵连的平动,使用极为不便;公告号为(CN87207106)介绍的一种专利产品能在光纤径向方向的微调量达到 $0.1\mu\text{m}$ 级,其微调放大机构是两套双杠杆机构,有较大的放大比,但是只要稍加分析就可以发现其非线性严重,调节不均匀,另外也未能解决各自由度相互牵连这一严重不足。

本文提出的装置采用叠层式滚珠导轨结构,运动灵活,结构紧凑,两套凸轮与螺纹级相连的放大机构,使光纤在径向方向的微调分度值达到 $0.1\mu\text{m}$ 并且理论上是完全线性的,巧妙的球面转动副构造完全消除了牵连运动,使得每一维自由度的调节完全独立开来,使用时只要按一定顺序逐个调节各个手柄,就能很方便地使光纤对准。

2 设计精度确定

不必将每一个自由度的调节精度设计得一样,而应根据具体情况找出对光耦合的敏感方

向，并定量地计算出其影响的大小，指导设计后就可以使结构更合理，成本更低廉。针对端面对接的特点，将两根光纤之间的相互位置偏差分解为如图 1 的三种特殊情况，每种偏差对光传输损耗的影响程度不同。对于相同的两根单模光纤，在弱波导条件下可求得功率传输函数：

$$T(\delta) = \exp(-\delta^2/\omega_0^2); T(\theta) = \exp[-(\pi n_2 \omega_0 \theta / \lambda)^2]; T(s) = 1 / [s / k n_2 \omega_0^2]^2 + 1]$$

式中： ω_0 是光斑直径， n_2 是环境介质折射率， k 是波数， λ 是波长。对于 $\lambda = 1.3 \mu\text{m}$ ， $\omega_0 = 7.0387 \mu\text{m}$ 的光纤，算得结果如图 2 和表 1 所示。

表 1

δ (μm)	$T(\delta)$	θ	$T(\theta)$	s	$T(s)$
0.1	0.9998	0.0010	0.9997	1	1.0000
0.3	0.9982	0.0030	0.9974	3	0.9998
0.5	0.9950	0.0050	0.9928	5	0.9996
0.7	0.9902	0.0070	0.9859	7	0.9991
0.9	0.9838	0.0090	0.9768	9	0.9986
1.1	0.9759	0.0110	0.9655	11	0.9979
1.3	0.9665	0.0130	0.9523	13	0.9971
1.5	0.9556	0.0150	0.9370	15	0.9961
1.7	0.9433	0.0170	0.9198	17	0.9950
1.9	0.9297	0.0190	0.9008	19	0.9937

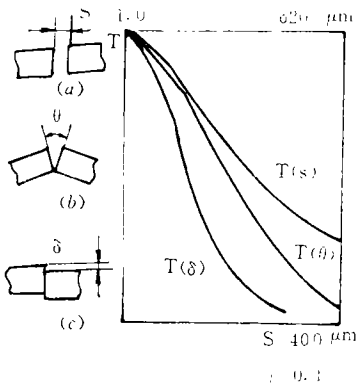


图 1

图 2

从图 2 和表 1 可以看到，径向偏差对光耦合的影响最大，在结构设计时应最大限度地提高这一方向的设计精度，再相应地确定轴向方向和角度方向的设计精度

3 机械系统设计

图 3 是该五维微调器的原理图，调节范围、分度值技术指标如下：

径向：5mm (0.1 μm)；轴向：5mm (5 μm)；角度：10° (1')

该装置有以下几个特点：

(1) 采用滚珠导轨，其中垂直平面内的两根导轨是复合结构，这种导轨制造简单，维修方便，运动灵活，同时叠层复合结构避免了仪器的装置误差，结构也十分紧凑。

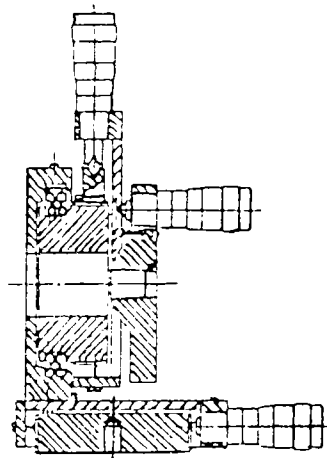


图 3

(2) 径向的高精度放大机构，由精密凸轮和光学细牙螺纹 (MR×0.35) 级连而成，放大比为 10000 倍，从而使得这两个方向的微调量达到 0.1μm 以下，其工作原理如图 4 所示，粗微调相结合，凸轮机构呈悬浮状态，微调时呈严格的线性，其放大比 $k = \pi DL / dk_1$ ，其中： D 为螺纹中径， L 为凸轮杆长 d 为螺纹螺距， k_1 为凸轮转角与升程之比，粗调时非线性因素的几千分之一，因此线性也很好。

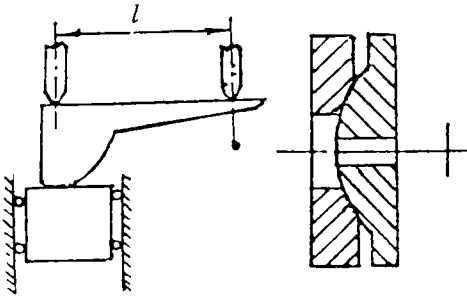


图 4

的紧定螺钉来消除。

(3) 同心转动机构，如图 5 所示，转动件与基准件之间通过一个球面接触，无论如何转动，其转动中心总是固定不变的，只要将光纤头部安装在球心处，就可以完全避免牵连运动，在转动件上互相垂直的位置安装两个推动螺杆，调节两个转动自由度。这种结构简单易行，使用方便。

(4) 间隙的消除 所有的调节运动都是无间隙的传动，每一种调节运动都有沿运动方向的弹簧来消除间隙，导轨的间隙也可以通过调节其侧边的

4 误差分析

本仪器的误差来源主要有：制造误差，主要为运动件一级的制造误差，如凸轮及与之相接触的挡片的形状误差、转动副球面的形状误差、导轨端面的档片与该导轨的垂直度误差等；弹性变形及摩擦磨损，调节运动在不同的点有不同的弹性恢复力，因此就有不同的弹性变量，由于弹性恢复力变化很小，弹性变形量变化也不大，误差较小；温度变形及环境振动引起的位置波动，这一项很重要，它往往使光纤对准发生漂移和偏摆，所以，除了在结构上加以考虑外，还必须注意一定的使用环境和条件；各自由度调节的零件之间的位置度误差，这种误差使得各自由度的调节实际上不可能完全独立，但是只要我们按一定的误差要求设计合理的位置度公差，同时，使用时采用重复一至三遍调节的方法，就可以达到渐精的效果。

5 结 束 语

本文介绍的装置是在现有技术及方案的基础设计改进出来的，现在正在加工调试过程中，仅提供于交流和参考。

参 考 文 献

- [1] 杨祥林等，《光纤传输系统》，东南大学出版社，1991
- [2] 实用新型专利申请说明书 (CN87207106U)
- [3] 薛实福，《精密仪器设计》，清华大学出版社，1990

Design of Novel High Accuracy Fine Tuning Device for Optical Fiber

Liu Guixiong, Zhong Xianxin, Song Li and Qu Chaorong

(Institute of Optoelectronic Machinery, Chongqing University, Chongqing 620044)

Abstract

This paper describes the design of a novel high accuracy optical fiber fine tuning device. We have made the constructure more reasonable and decreased the cost by determining the optimal designing accuracy index. The tuning of each dimension is quadrature independent, which makes the tuning more convenient. The device has the high radical tuning accuracy of less than $0.1\mu\text{m}$.

Key Words: Fine tuning mechanism, High accuracy, optical fiber coupling