

多光纤密集排列精密定位方法研究

高云国

(中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130021)

摘要: 针对 LAMOST 天文望远镜工程中分布在直径 1.75m 圆焦面上的 4000 根光纤同时接收星光信号的要求, 分析了国内外现有光纤定位方法的优缺点, 根据杠杆的位移放大原理, 提出了摆杆式并行平台光纤定位的方法, 并对其进行了方案分析, 该定位方法可以满足 LAMOST 工程对光纤定位提出的各项指标要求, 定位精度能达到 $\pm 0.040\text{mm}$, 为 LAMOST 工程方案的选择提供了依据。

关键词: 定位方案; 摆杆结构; 并行平台

中图分类号: TN25 文献标识码: A

1 引言

国家大科学项目 LAMOST 天文望远镜是一架中星仪式大视场大口径反射施密特望远镜。它主要用于大天区面积多目标光纤光谱的观测工作。望远镜接收焦面直径为 1.75m, 要求每次观测前将 4000 根光纤接收端精密对准各自观测的星光焦点并定位于接收焦面上, 可以同时 4000 个星像目标进行光谱观测。4000 根光纤的精密定位问题是 LAMOST 项目中的主要难题之一, 而光纤定位的主要难点是, 多点密集排列小空间两维精密定位问题。

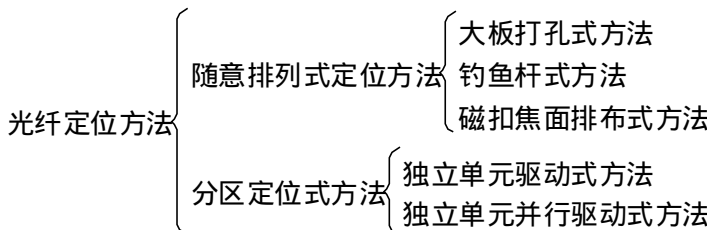
2 光纤定位主要指标

- (1) 焦面直径 $\Phi=1750\text{mm}$, 焦距=20m;
- (2) 光纤根数: 4000 根;
- (3) 光纤定位精度: $\pm 0.04\text{mm}$;
- (4) 光纤焦深方向定位精度: $\pm 0.2\text{mm}$;
- (5) 光纤对焦面的不垂直度: $\pm 1^\circ$;
- (6) 导星光纤定位精度: $\pm 0.005\text{mm}$;
- (7) 4000 光纤定位一次时间: 0.5 小时。

3 光纤定位方法分析

3.1 光纤定位方法分类

目前国内、外的光纤定位方法可分为随意排列式和分区定位式两大类。在随意排列式方法中, 可分为大板打孔、钓鱼杆式和磁扣焦面排布式三种方法, 在分区定位式方法中, 可分为独立单元驱动式和独立单元并行驱动式两种方法。



3.2 光纤定位方法性能分析

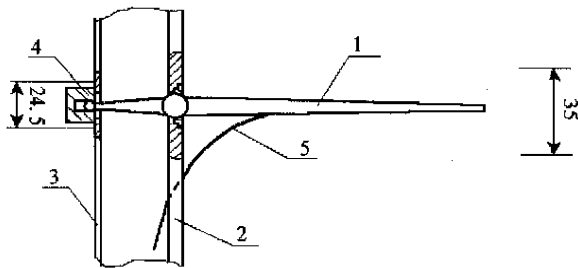
随意式光纤定位方法是最早使用的至今仍保

留使用的星光光谱观测中的光纤定位方法。这类方法的优点是随意排布光纤。大板打孔方

法,其随意排布光纤性最强,可实现较密集的光纤排布(两光纤最小排布间距,决定于光纤插拔结构直径),这种方法的主要缺点是,每次观测需要加工一块光纤定位板,在观测过程中无法对大气折射产生的误差进行校正。用机械手排布磁扣焦面定位和钓鱼杆式光纤定位方法不需要每次加工定位板,但由于从磁扣引出的光纤占据焦面位置,影响其他磁扣的密集排布和多光纤定位,也无法对大气折射产生的误差进行实时校正。上述的三种光纤定位方法对于视场小、光纤数目少的天文光谱观测还是适用的,但对于LAMOST天文望远镜就很难搬用这种方法。首先,LAMOST天文望远镜视场较大,焦面边缘区域大气折射产生的光线横向最大偏移量达到0.4mm,这已超过光纤直径,观测过程中如不进行校正已无法接收星光信号。LAMOST同时要观测的星像数目多达4000个,采用大板打孔方法则观测准备费时、运转费用太高,采用磁扣焦面排布定位方法和钓鱼杆式方法,不可能在 $\Phi 1750\text{mm}$ 直径的圆内排布4000根光纤。基于这种情况,根据LAMOST望远镜的需要,我们提出了分区式独立单元并行驱动光纤定位方法。

4 分区式独立单元并行驱动光纤定位方法

本方法将4000根光纤均匀地分布到 $\Phi 1750\text{mm}$ 的接收焦面上。这样,每根光纤接收星光的单元区域面积平均为 $24.53\text{mm} \times 24.53\text{mm}$ 。采用摆杆机构摆动每根光纤的接收端(如图一所示),利用摆杆的位移放大原理,实现无盲区甚至超区域星光接收。



1. Swing rod for optical fiber positioning; 2. plate for connecting optical fibers; 3. plate for fixing magnet buttons; 4. magnet button; 5. optical fiber

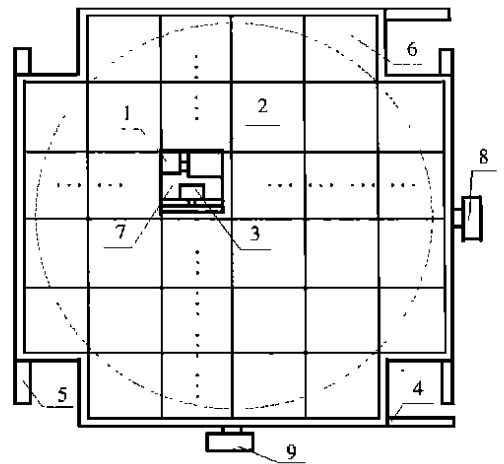
Fig. 1 Scheme of optical fiber positioning structure with swing rod

用4000根摆杆摆动光纤定位,解决每个单元空间狭小的问题,为节省调整定位时间,采用32只小平台(只有二维移动)来同时并行调整定位。将32只小平台等间距安装到一个大平台上(如图二所示),大平台完成光纤单元之间的行走,各小平台并行调整定位每一根光纤。

这样,由LAMOST总体给光纤定位机构的4000颗星像的两维焦面坐标首先被光纤定位机构的中央计算机接收,将星像焦面坐标转换为大平台坐标,对4000颗星像按位置划分为32个调整定位区域,把每个区域的光纤位置坐标加上环境(温度、重量等)补偿量,再转换为各小平台坐标分送到32个调整定位区域的控制单元,各小平台的控制单元接收到本区域星像焦面坐标后作为各光纤定位的目标值。

中央计算机完成与LAMOST主系统的数字通讯,坐标变换,并调控大平台的控制单元完成各区域内光纤单元间的行走。各小平台控制单元调控小平台,完成本区域各光纤的精密定位。

系统主要由光纤定位摆杆结构;并行调控平台;摆动平移伸缩补偿结构;位置检测和控制;计算机控制、管理网络五部分组成。



1. positioning structure with magnetic clip; 2. fine tuning structure in X direction; 3. fine tuning structure in Y direction; 4. precise guide in X direction; 5. precise guide in Y direction; 6. large table; 7. small table; 8. driving structure of the large table in X direction; 9. driving structure of the large table in Y direction;

Fig. 2 Scheme of the rear compound operation for adjusting and controlling parallelly

5 定位精度分析

5.1 焦面定位精度分析

指标要求光纤定位误差为 $\pm 0.04 \text{ mm}$, 根据这一指标, 大平台 X、Y 两方向的移动采用密珠导轨, 力矩马达作动力源, 精密滚珠丝杠作传动件, 用光栅尺作为位置检测元件, 其位置精度可以达到 $\pm 0.002 \text{ mm}$ 以内。小平台采用小型密珠导轨, 力矩马达为动力源, 精密丝杠为传动件, 其位置精度可达到 $\pm 0.001 \text{ mm}$ 。摆杆前后端放大比为 5: 1, 理论上光纤定位精度可达到 $\pm 0.015 \text{ mm}$ 。考虑到间隙误差、弹性变形和大气折射校正误差等因素后, 光纤定位精度能达到 $\pm 0.04 \text{ mm}$ 。

5.2 焦深方向位置精度分析

摆杆前端长 200 mm , 接收单元焦面半径 15 mm , 则每根摆杆有 84.5% 的受光中心面积可以满足 $\pm 0.2 \text{ mm}$ 的焦深定位精度要求, 其余 15.5% 的接收面积稍有超差。为了改变这种情况, 在摆杆上加一补偿凸轮, 对离焦量进行补偿。可达到 $\pm 0.2 \text{ mm}$ 焦深方向定位精度要求。

5.3 光纤对焦面的不垂直度误差分析

采用平移杆结构平移光纤接收端, 从理论上

讲光纤接收端对焦面应完全垂直移动, 指标要求光纤对焦面不垂直度误差为 $\pm 1^\circ$ 应能够达到。

6 结 论

由以上分析结果知, 分区式独立单元并行驱动光纤定位方法其定位精度可以达到 $\pm 0.04 \text{ mm}$, 采用补偿凸轮和平移杆结构能满足焦深定位精度和焦面不垂直度误差要求。此种定位方法和结构可以满足 LAMOST 天文望远镜提出的性能指标要求。

该方法的主要优点为: 可以做到无盲区, 甚至超区星光接收; 系统比较简单, 驱动控制系统少, 将来运行时费用少; 大平台和小平台结构刚度较大, 定位精度高; 一次光纤定位时间长短可由小平台数量的多少进行调节; 结构比较成熟, 可靠性较高, 安装调试容易, 使用的方便性及维修性均较好。

参考文献:

- [1] Gao yunguo. The scheme of a not blind positioning structure with parallel adjusting tables and swing rods for 4000 optical fibers of LAMOST[J]. Astrophysics Reports, 1996, 29: 94- 103.
- [2] 王惠敏. 仪器仪表结构设计手册[M]. 北京: 国防工业出版社, 1989.
- [3] 王之江. 光学技术手册[M]. 北京: 机械工业出版社, 1987.

Accurate positioning scheme for close range of multi-optical-fiber

GAO Yun-guo

(Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics,
Chinese Academy of Sciences, Changchun 130021, China)

Abstract: LAMOST telescope needs 4000 optical fibers accurately positioned on focal surface of 1750 mm diameter. The paper analyzed the strong points and shortcomings of the optical fiber positioning methods home and abroad. According to the principle of magnifying displacement with swing rod, the paper put forward the method of optical fibers positioning with parallel adjusting tables and swing rod, and designed the positioning structure of close range optical fibers in a small space. The analysis results make known, the structure can meet the needs of the every index to the optical fibers positioning for LAMOST telescope, the positioning precision can reach to $\pm 0.04 \text{ mm}$, which supplies the basis of the choosing plan for LAMOST telescope.

Key words: positioning scheme; structure of swing rod; parallel tables

作者简介: 高云国(1955-), 男, 山东乳山县人, 1955年3月20日生。工学硕士, 主要从事精密机械与传动方面的研究, 曾获得中科院科技进步二等奖, 发表论文三十余篇, 获得专利多项。