

# 光电精密跟踪的双重复合轴伺服系统

王毅 高伟志 王贵文 刘丽华

(中国科学院长春光学精密机械研究所, 长春 130022)

**摘要** 介绍了用于光电精密跟踪的双重复合轴伺服系统。分析了该系统的伺服控制原理、稳定性、快速性和提高跟踪精度的功能,给出了系统跟踪误差曲线。

**关键词:** 双重复合轴; 精密跟踪

## 1 概 述

随着光电对抗和光电测量技术的迅速发展,在激光武器和激光雷达中为保证对目标的高精度跟瞄,必须设计一个精密跟踪伺服系统。这方面除了考虑探测器性能的影响外,应从现代控制方法出发,采用新型的控制结构,满足较高的性能要求。

这种精密跟踪系统特点是既有较高的跟踪精度( $20 \mu\text{rad} \sim 1 \mu\text{rad}$ ),又有较好的快速跟踪性能。对此,我们从70年代中期开始了复合轴伺服控制技术的研究,它是用一个或两个探测器同时控制4个跟踪轴的伺服系统,都可取得角秒级的跟踪精度。这表明复合轴伺服控制是实现光电精密跟踪的一种有效途径。目前,在国外许多光电跟踪设备上获得应用。

本文介绍一种新的双重复合轴伺服系统,它是采用两个探测器同时控制6个跟踪轴的伺服控制系统。

## 2 双重复合轴伺服系统的结构及控制原理

一般国外激光武器的跟瞄望远镜口径为1米左右,重约8~10吨。这样大口径望远镜,光机跟踪架如果直接快速高精度跟踪目标是相当困难的,而单独驱动反射镜则跟踪范围受到限制。所以我们采用在大惯量主跟踪架上安装具有快速微调镜的子跟踪架的复合轴伺服系统,其主伺服系统完成目标捕获和粗跟,而子伺服系统完成目标的快速微调精密跟踪,其跟踪精度很高,复合轴系统是实现大口径望远镜快速高精度跟踪的有效控制结构。

### 2.1 双重复合轴系统结构原理图

研制的两种复合轴伺服系统,都能获得很好的系统稳定性,并对较快速的目标跟踪精度优于 $20''$ 。但如果进一步提高整个系统跟踪精度,就应再提高主伺服的跟踪精度,尽量使子伺服的工作行程小、频率响应高。基于这种考虑,提出采用双重复合轴伺服系统,以实现对目标的精

密跟瞄,其光机结构示意图如图 1 所示。

双重复合轴伺服系统是由粗探测器(3),主望远镜(5)及粗反射镜(4)组成单探测器复合轴主伺服系统。再由精探测器及精微调镜组成精子伺服系统。最后主伺服与精子伺服构成一个双探测器复合轴系统。

一般来说,单探测器复合轴主伺服系统跟踪较快的运动目标( $20^\circ/s^2$  以上),可以达到优于  $20''$  的跟踪精度。当目标进入精探测器视场后,精子伺服系统投入工作,整个系统为双重复合轴系统工作状态。

若精子伺服带宽相当宽、精探测器的分辨率等足够高,它完全具备调节主伺服随机误差的能力。该双重复合轴伺服系统的跟踪精度可以达到  $1''\sim 2''$ 。

### 2.2 双重复合轴系统控制原理

关于单探测器和双探测器复合轴伺服系统的控制原理及有关性能分析可参阅文献[1][2]。它们的系统控制原理框图如图 2(a)及 2(b)所示。

按双重复合轴系统的原理结构,我们可以得出该系统的控制原理框图,如图 3 所示。

图 3 中所示的  $C_2$  是单探测器复合轴系统构成主伺服的输出。 $C_1$  为精子伺服的输出。而  $C$  是双重复合轴系统的输出,它与  $C_1$  及  $C_2$  相关。

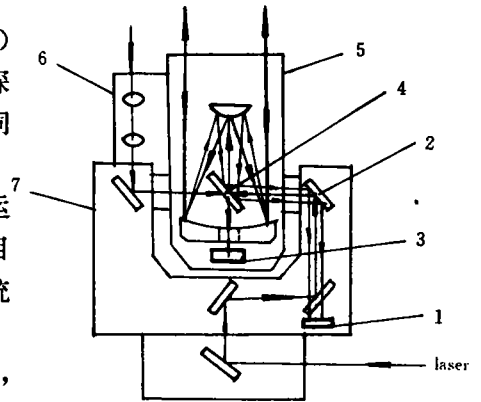


图 1 双重复合轴系统结构示意图

Fig. 1 Schematic diagram of the Constitution of dual Compound axis system

- 1. fine tracking sensor
- 2. fine pointing mirror
- 3. coas tracking sensor
- 4. coas reflecting mirror
- 5. main telescope
- 6. coas sensing telescope
- 7. gimbal

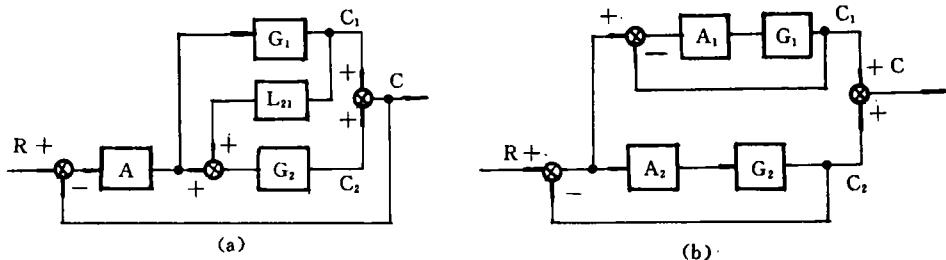


图 2 复合轴伺服系统原理框图

Fig. 2 The principle block diagram of the compound axis servo system

因为主伺服是单探测器复合轴系统,如果满足解耦条件,  $L_{21} = A_2$ , 系统获得静态自主。其等效开环传递函数[1]:

$$W_m = A_2 G_{21} + A_2 G_{22} + A_2 G_{21} A_2 G_{22}$$

由于双重复合轴系统本身为双探测器复合轴系统,整个系统开环传递矩阵[2]:

$$W = \begin{pmatrix} A_1 G_1 & -A_1 G_1 (A_2 G_{21} + A_2 G_{22} + A_2 G_{21} A_2 G_{22}) \\ 0 & A_2 G_{21} + A_2 G_{22} + A_2 G_{21} A_2 G_{22} \end{pmatrix}$$

其闭环传递矩阵:

$$\Phi = \begin{bmatrix} \frac{A_1 G_1}{1+A_1 G_1} & \frac{-A_1 G_1 (A_2 G_{21} + A_2 G_{22} + A_2 G_{21} A_2 G_{22})}{(1+A_1 G_1) \cdot (1+A_2 G_2)} \\ 0 & \frac{A_2 G_{21} + A_2 G_{22} + A_2 G_{21} A_2 G_{22}}{1+A_2 G_{21} + A_2 G_{22} + A_2 G_{21} A_2 G_{22}} \end{bmatrix}$$

作为双探测器复合轴系统,为非条件静态自主系统,其系统特征方程为:

$$(1+A_1 G_1)(1+A_2 G_{21} + A_2 G_{22} + A_2 G_{21} A_2 G_{22}) = 0$$

$$\text{即 } (1+A_1 G_1)(1+A_2 G_{21}) \cdot (1+A_2 G_{22}) = 0$$

由此可见,整个双重复合轴伺服系统,只要三个单变量分系统稳定,该双重复合轴系统就稳定。

假定,我们考虑该系统为一个输入是和二个被调量为输出量时,整个系统的闭环传递函数为:

$$\Phi_D = \frac{A_1 G_1 + A_2 G_{21} + A_2 G_{22} + A_2 G_{21} A_2 G_{22} + A_1 G_1 A_2 G_{21} + A_1 G_1 A_2 G_{22} + A_1 G_1 A_2 G_{21} A_2 G_{22}}{(1+A_1 G_1)(1+A_2 G_{21})(1+A_2 G_{22})}$$

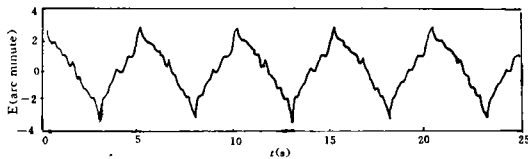
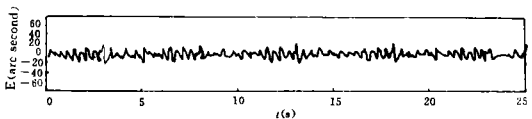
双重复合轴伺服系统的等效开环传递函数为:

$$W_D = A_1 G_1 + A_2 G_{21} + A_2 G_{22} + A_2 G_{21} A_2 G_{22} + A_1 G_1 A_2 G_{21} + A_1 G_1 A_2 G_{22} + A_1 G_1 A_2 G_{21} A_2 G_{22}$$

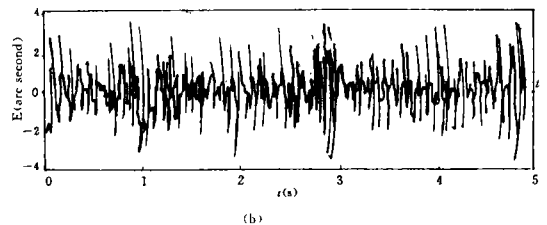
双重复合轴系统的允差度将由  $A_1 G_1 A_2 G_{21} A_2 G_{22}$  决定,即等于三个单变量分系统允差度之和。这就是它有效地提高系统跟踪精度的原因。

### 2.3 系统跟踪误差曲线

双重复合轴伺服系统,我们采用大视场电视组成单探测器复合轴系统为主伺服,并以高帧频、高分辨率窄视场电视为探测器组成精子伺服。它们共同构成一个双重复合轴伺服系统。该系统跟踪运动目标的角误差曲线如图 4 所示。



(a) the main servo system of compound axis with single TV



(b) the dual compound axis servo system

图 4 双重复合轴系统电视跟踪误差曲线

Fig. 4 The TV tracking error curves of the dual compound axis system

双重复合轴系统的关键技术之一,是如何设计一个频带很宽、动态响应相当快的高精度子伺服系统。因为主伺服主要用于目标的捕获和粗跟踪,而子伺服是用于调节并减小主伺服跟踪误差中随机分量。只有这样,才使整个双重复合轴伺服系统跟踪精度大幅度提高。

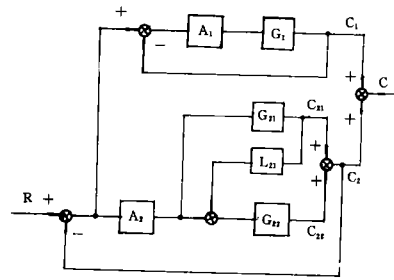


图 3 双重复合轴伺服系统原理框图

Fig. 3 The principle block diagram of the compound axis servo system

### 3 结 束 语

双重复合轴伺服系统是能完成精密跟踪瞄准的一种可行的伺服控制结构。它在国外重大光电工程设备上已得到应用〔3〕。

我们在工程设计中,只要综合考虑到整个系统的稳定裕度,各分系统的动态响应能力及参量匹配等一系列问题,将会获得一个良好性能高精度跟瞄的双重复合轴伺服系统。

在光电精密跟瞄伺服控制技术的研制中,史济成研究员给与大力支持,表示谢意。

#### 参 考 文 献

- 〔1〕李生良,王毅,用于精密跟踪的复合轴伺服系统. 光学机械,1980,(2):50—56
- 〔2〕王毅,光电精密跟踪的现代伺服控制技术. 吉林电子,1989 专辑
- 〔3〕M. Fujine, et al., Current and future activities in the area of optical space communications in Japan. Proc. of SPIE 1991,1522:14—26

### Dual Compound Axis Servo System of Opto-Electronic Precision Tracking

Wang Yi, Gao Weizhi, Wang Guiwen, Liu Lihua  
(Changchun Institute of Optics and Fine Mechanics,  
Chinese Academy of Sciences, Changchun, 130022)

#### Abstract

This paper introduces the dual compound axis servo system for opto-electronic precision track. The stability, fast response and the function of improving tracking accuracy are studied. The error curves of tracking system are given.

**Key words:** Dual compound axis, Precision tracking

王毅男,1939年2月生,1963年毕业于长春光学精密机械学院电子技术专业、研究员。主要从事光电跟踪控制技术及其应用研究。曾发表“光电精密跟踪的现代伺服控制技术”等论文10余篇。“718电视跟踪”项目负责人之一,1980年获国防科委单项重大成果二等奖。是260光电捕获跟踪定位系统(获1994年中国科学院科技进步二等奖)的课题负责人之一。现为RCG441激光对抗精密跟瞄伺服控制技术研制负责人。