

# 宇宙飞行模拟机-光学探头

王立升 于国或 于德利

(中国科学院长春光学精密机械研究所, 长春 130022)

**摘要** 简要介绍宇宙飞行模拟机-光学探头的用途、达到的功能及原理。论述模拟宇宙飞船的俯仰、偏航、滚转等各种飞行姿态的方法及动态下的视景模拟。提出解决模拟失真的途径,并给出了实现多种运动的光机结构方案及具体措施。

**关键词:** 光学探头, 模拟, 姿态

## 1 引言

为了使航天飞行的工作人员(尤其是宇航员)熟悉操作,适应环境,需要事先进行训练,在地面训练是最好的途径。但是需要有模拟设备,其中视景和姿态的模拟是它的重要组成部分。为此我们研制了光学探头。该探头能取景,能实现动态视景的模拟和各种运动姿态的模拟。它具有真实感强、可靠性好、大视野、大景深、物距和姿态变化范围大等特点。

## 2 模拟的概念

为了模拟得好,必须熟悉要模拟的对象所以我们首先看看宇航员在太空飞行的状况,如图1所示。

宇航员通过窗口看到地球表面,星空等(经常看的地球表面),因为地球在公转和自转,飞船除了正常飞行外,还要升降,并做俯仰、偏航、滚转等运动,所以他所见到的景象必然随着各种运动在变化,这种变化的景象正是需要我们模拟的,并且在动态景象模拟的基础上,将各种姿态运动一并体现出来。

我们按比例制做一个小的立体地球模型,星空等,在模拟的轨道高度放一光学探头,如图2所示。

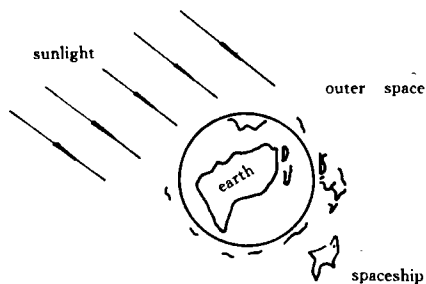


图1 太空示意图

Fig. 1 Outer space

地球模型的图象,经过光学探头中的特殊光学系统,输出动态的模拟图象到显示屏。宇航员看着显示屏,控制操作盘,再由计算机,电控系统又送给光学探头和地球模型。

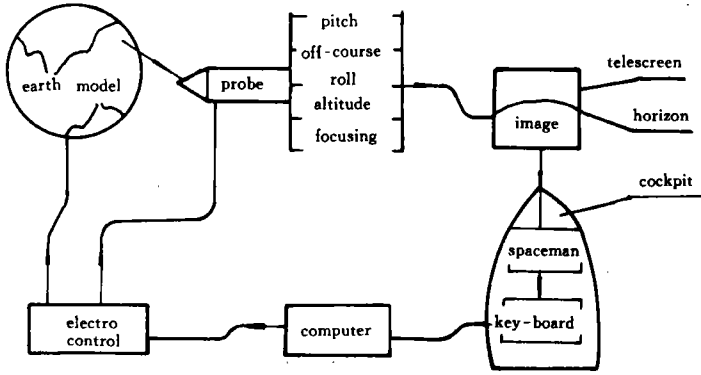


图 2 模拟框图

Fig. 1 Simulate block diagram

### 3 实验模拟的原理及光机结构措施

光学探头是微小的摄像头,它虽小,也不能用探头整体运动来模拟各种姿态运动。

我们将探头的光路设计成二级成像的多轴系统,其中主要由棱镜、取景物镜、别汉棱镜和转象物镜所组成,如图 3。

取景物镜轴和滚转轴平行并不重合,俯仰轴、偏航轴和滚转轴(滚转轴和光轴重合),这三轴必须互相垂直并交于一点,该点就是转动中心。为消除模拟的失真,除了系统无畸变外,还必须消除由于各种运动带来的失真,为此本系统需将光学系统的入瞳面与光轴交点,取景物镜物方焦点以及转动中心这三点重合。

为实现各种姿态运动的模拟我们采用偏心的内、外功能环加连杆结构,如图 3。

(1)为模拟飞船调头,翻跟斗,需要模拟大的俯仰角。所以我们将取景物镜 18,侧移开整个系统的光轴,再通过复合棱镜 28 将取景物镜轴移回整个系统光轴上。

用俯仰主动功能环的齿条 6 及从动功能环齿条 17 带动俯仰齿轮转动,使俯仰棱镜 13 绕俯仰轴转动,这就实现了俯仰运动的模拟。俯仰棱镜在俯仰同时,要于偏航同步,要求齿条能同时完成直线运动和旋转运动。

(2)偏航运动的模拟是除道威棱镜 26 和摄影物镜 34 外的所有光学件装在偏航筒 4 内,并通过齿轮 3 使之绕偏航轴转动。由于取景物镜的光轴和整个系统的光轴不重合,使内环转动受外环影响,所以设计成内孔偏的内环。

(3)将道威棱镜装在滚转筒 2 内,通过齿轮 1 使其绕光轴转动,即可实现滚转运动的模拟,但是由于俯仰棱镜和偏航棱镜 12 转动时,产生不必要的象旋转,混扰了滚转运动的模拟,这也必须用道威棱镜的转动来消除。经象面坐标转换的推导,道威棱镜应按下面规律运动,设道威

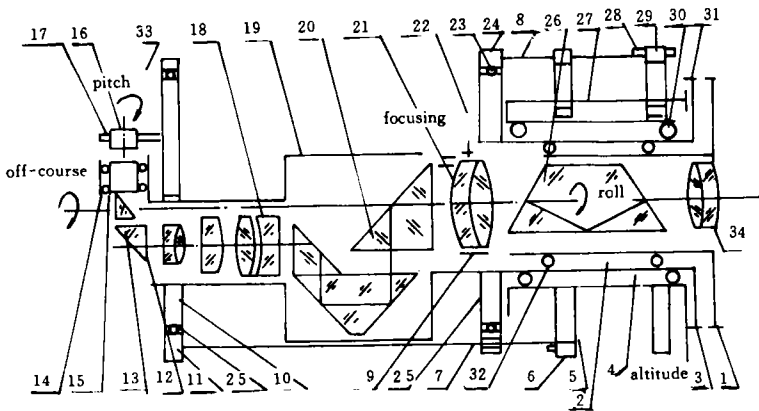


图3 模拟原理及结构图

Fig. 3 Simulate principle and structure

棱镜实际转动的角速度为  $\omega_4$ , 则有

$$\omega_4 = \frac{1}{2}(-\omega_1 + \omega_2 - \omega_3) \tag{1}$$

其中  $\omega_1, \omega_2, \omega_3$  分别为俯仰、偏航、滚转运动的角速度。所有角速度均以顺时针为正(顺光前进的方向看)。所以道威棱镜即起模拟滚转运动又起消象旋转的作用。为保证道威棱镜完成合成运动,在结构设计上采用两套能做代数加减法的差动齿轮和磨盘机构。

(4)当飞船飞行高度取 300~150 km 时,按一千万分之一的比例,则模拟高度只有 30~15 mm,因此用整个探头在话动平台下面的滚球丝杆套带动下作垂直地模表面的直线运动来实现飞行高度的模拟。

(5)光学探头的自动调焦

由于俯仰运动,引起观察地球表面的位置的改变,也导致转轴到观察点之间距离的变化,如图 4。

A 为转心, B 为物面观察点, AO 为光轴,  $\theta$  为平视线和光轴夹角(平视线垂直于 AD), AD 为模拟高度,  $\omega$  为探头半视场角, AB 为工作距。

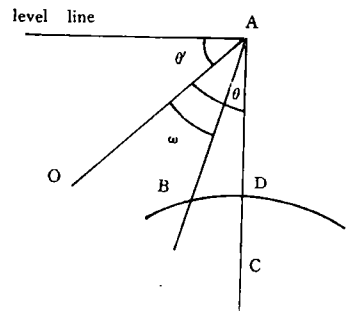


图4 工作距离与俯仰角关系图

(2) Fig. 4 The relation for

working distance and angle of pitch

$AB = (h + R) \cdot \cos(\theta + \omega) - [R^2 \cdot (h + R)^2 \cdot \sin^2(\theta + \omega)]^{1/2}$   
这里的  $h$  等于 AD,  $R$  等于 DC,  $R$  为地球模型的半径。

$$\theta = 90^\circ + \theta' \tag{3}$$

所有角度顺时针为正,当 AD 为地球切线时,此时  $\theta$  称为  $\theta$  切,则有  $(\theta + \omega) > \theta$  切时,公式(2)无意义。

正作距的变化,导致象面位移,所以必须调焦才能保证成像清晰。

光学探头的调焦是用图 3 中的调焦镜 21 按一定规律沿光轴移动来完成的,在调焦过程

中,始终保持第一象面和调焦镜焦面重合,这样物象倍率与调焦无关,即不产生失真。

调焦镜移动的距离和工作距离有关,设常用工作距离下的第一象面到取景物镜的象方焦点之距离为  $X$ 。(此时调焦镜的位置为零位置)。其它位置为  $X_0$ ,设调焦量为  $\Delta X$ ,则有

$$\Delta X = X - X_0 \quad (4)$$

经推导得

$$\Delta X = f^2 \cdot \left( \frac{1}{AB} - 0.0813 \right) \quad (5)$$

$f$  为取景物镜焦距。

## 4 结 语

光学探头功能多,运动关系较复杂,技术难度较大。由整机联调后,经过几年的应用,表明该光学探头原理是正确的,达到了使用要求,能够对宇宙飞船轨道段飞行的各种姿态及高度进行实时模拟。利用其它设备与之配套后可对航天员进行有关训练及进行人机系统的研究。该仪器的原理同样可适用于航空、航海、汽车、坦克等相应模拟设备。

### 参 考 文 献

- [1] W. M. Kauffman, Flight Application of Target-Simulator Principles. Aeronautical Engineering Review, 1956, 15: 76-80
- [2] Packard I. N, Electrooptical Image Matcher for Space Guidance Application. IEEE Trans, 1963, ANE-10(2):282-289
- [3] 汤自义,须耀辉,王志坚,反射棱镜. 北京:国防工业出版社,1981:62-74
- [4] 李志贤,郑乐年,光学设计手册. 北京:北京理工大学出版社,1990:171-206

## Optical Probe for Space-flight Simulator

Wang Lisheng

(Changchun Institute of Optics and Fine Mechanics,  
Chinese Academy of Sciences, Changchun 130022)

### Abstract

In this paper the application, the function and the working principles of an optical probe for a spaceflight simulator are stated. The simulation methods for pitching movement, going off course and rolling of spaceships are described, and the vision simulation of moving conditions could be realized. An approach to solution of the problem of distortion is proposed, and an opto-mechanical configuration for realizing multiple movements is also given.

**Key words:** Optical probe, Simulation, Posture

王立升 男,1940年3月生,1965年毕业于长春光学精密机械学院应用光学专业,副研究员。从事光电跟踪、光电测量、光学模拟及制导技术等研究。曾获两项科学院科技进步二等奖,获得两项国家专利。