

文章编号:1000-582X(2003)05-0115-03

# 自然环境加速实验装置中自动跟踪太阳方法

林晓钢,高潮,郭永彩,申屠南琪

(重庆大学光电工程学院,重庆 400044)

**摘要:**自然环境中的材料加速老化实验装置的使用已成为耐候性实验的主要发展趋势,它的研制成功,对新材料,新涂料的研究开发具有深远的影响和推动作用。全自动、全天候准确的跟踪太阳则是该加速实验装置的重点攻关项目。提出了用于该加速实验装置的一种新的准确跟踪太阳轨迹并对太阳运行轨迹公式进行修正的方法,介绍了该装置实时跟踪太阳模块的设计及其对太阳轨迹的修正,并对跟踪模块中使用的跟踪太阳传感器原理进行了详细的阐述。

**关键词:**加速老化;太阳跟踪传感器;轨迹修正

**中图分类号:**TK513.4

**文献标识码:**A

在加速老化实验中,日光是对材料老化破坏起主要作用的因素。因此,必须在实验过程中对太阳的运行轨迹进行实时跟踪,以保证对实物的加速曝晒,从而达到实验目的。本文讨论了利用自己研制的四象限太阳跟踪传感器和跟踪太阳轨迹相结合跟踪太阳的方法,并在跟踪过程中采集电机绝对转动量,对太阳轨迹进行修正。

## 1 原理

自然环境跟踪太阳反射聚能加速实验装置就是为了实现在恶劣自然条件下加速老化实验而设计的。该装置采用双轴自动跟踪太阳机构,这两根轴分别对应太阳轨迹的俯仰角和方位角,两轴相互垂直,控制曝晒架(架上有10面经精密加工的非涅尔反射镜)随太阳转动,能轻松实现对太阳的全方位跟踪,使非涅尔反射镜可以将接近于8倍的自然太阳光反射到位于镜床上方的样品区的试样上<sup>[1]</sup>。图1是自然环境跟踪太阳反射聚能加速实验装置系统框图。其中虚线框内为跟踪太阳系统,即本文所要讨论的主要内容。

为了能对电机的绝对转动角度进行测量,分别在俯仰角电机和方位角电机的旋转轴上安装圆光栅编码器实时反馈电机转动角,实现该装置按预置太阳轨迹运行时对方位角和俯仰角改变的全程监控。同时,为了消除实验装置按预置太阳轨迹公式运行的误差,采

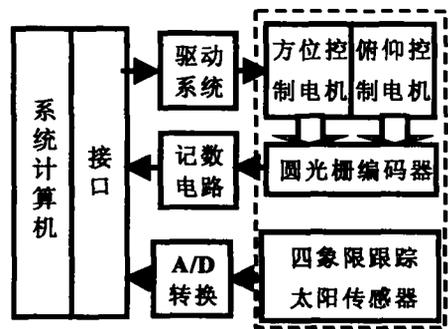


图1 自然环境聚能加速实验装置框图

用四象限跟踪太阳传感器对太阳光线是否与曝晒架垂直进行判断,以确保曝晒架始终与太阳光线垂直。

太阳轨迹由每分钟实际安放地点的太阳俯仰角和太阳方位角构成,其坐标为 $(h_0, \theta)$ 。这两点的确定是由自然环境跟踪太阳反射聚能加速实验装置实际安放地点的地理纬度、地理经度对应的地方时(含年、月、日)及当时的太阳时角通过计算产生。

太阳俯仰角 $(h_0)$ 的计算公式为:<sup>[2-4]</sup>

$$\sin h_0 = \sin \delta \sin \varphi + \cos \delta \cos \varphi \cos \tau \quad (1)$$

式中, $\delta$ 为太阳赤纬角, $\varphi$ 为装置安放地的地理纬度, $\tau$ 为当时的太阳时角。

太阳方位角 $(\theta)$ 的计算公式为:<sup>[2-4]</sup>

$$\cos \theta = (\sin h_0 \sin \varphi - \sin \delta) / \cos h_0 \cos \tau \quad (2)$$

式中, $h_0$ 为太阳俯仰角, $\delta$ 为太阳赤纬角, $\varphi$ 为使用地

• 收稿日期:2003-01-03

作者简介:林晓钢(1975-),男,重庆荣昌人,重庆大学硕士研究生,主要从事光电技术及智能化方向研究。

的地理纬度。

由此式可求出两个 $\theta$ 值,第一个 $\theta$ 值是午后的太阳方位,当 $\cos\theta \leq 0$ 时, $90^\circ \leq \theta \leq 180^\circ$ ;当 $\cos\theta \geq 0$ 时, $0 \leq \theta \leq 90^\circ$ 。第二个 $\theta$ 值为午前的太阳方位。

计算机控制俯仰角电机和方位角电机按预置太阳轨迹运行至太阳垂直照射点,每5分钟作一次调整。在这5分钟的时间间隔内,传感器跟踪太阳轨迹,并控制俯仰角电机和方位角电机转动,在小范围内跟踪太阳。计算机通过角度传感器对电机转动角度进行采集形成实时的太阳位置坐标 $(h', \theta')$ 。该坐标对计算机中预置的太阳位置坐标 $(h_0, \theta)$ 进行修正,其中 $h' = h_0 \pm \Delta_h, \theta' = \theta \pm \Delta_\theta$ ,形成新的太阳位置坐标系。并将新的太阳位置坐标系存入计算机,以便能查阅太阳在任意时刻的位置。

## 2 四象限跟踪太阳传感器

太阳跟踪传感器是跟踪太阳反射聚能加速试验装置的关键部件。对它的设计要求就是保证暴露架上的受光面始终与太阳光线保持垂直,以确保架上的反射镜能最大限度的将太阳光反射到样品上,使样品上的紫外辐射分布像太阳光一样变化。为了适应长时间在太阳光下以及光电流随照度线性变化的曝晒,我们采用特制的硅光四象限电池作为太阳跟踪传感器的核心部件。

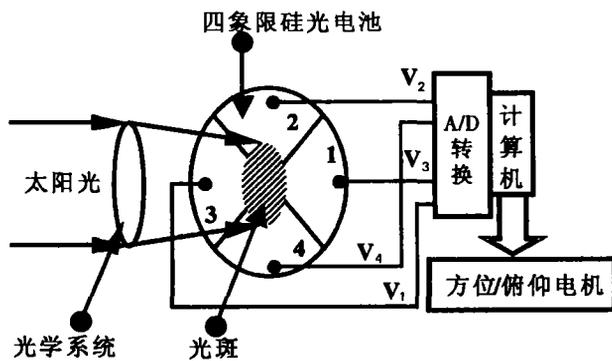


图2 太阳跟踪传感器工作原理

图2是四象限跟踪太阳传感器原理图。因为从太阳射来的光可近似的视为平行光波,在光学系统的焦平面上成像为埃里斑。为避免光电池饱和,在光学系统的焦平面附近加一遮光片以减弱光强,于是四象限电池得到的目标像近似为圆形光斑。当光轴对准太阳时,即太阳光与光轴成一直线直射框架时,圆斑的中心在光轴上。四个象限接收到相同的光功率,输出相同的光电流信号。设圆形光斑中心坐标为 $(x, y)$ ,当光轴未对准太阳时即太阳光与光轴成一角度 $\theta$ 时,光线经光学系统照射到四象限光电池上形成的光斑必然发生偏移即 $(x \neq 0, y \neq 0)$ 。由于各象限的光功率与各

象限的光斑面积成正比,每个象限被光斑覆盖的面积不同,因此各象限光电池产生的光电流不尽相同,利用和差定向原理,将光电流 $i_1$ 与 $i_3$ 的差值作为 $x$ 轴的偏移,将 $i_2$ 与 $i_4$ 的差值作为 $y$ 轴的偏移,将电流差值转换成电压差值。对应于<sup>[5-6]</sup>

$$\left. \begin{aligned} x &= k(V_1 - V_3) \\ y &= k(V_2 - V_4) \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

将 $V_1, V_2, V_3, V_4$ 进行模数变换,然后送入计算机。计算机通过驱动设备可控制俯仰角电机和方位角电机转动,直到 $V_1 = V_3, V_2 = V_4$ ,即 $x = 0, y = 0$ ,则表明系统光轴已经对准太阳。计算机通过角位置传感器获得电机转动的实际角度,即太阳实际坐标 $(h', \theta')$ 。将该坐标同太阳轨迹的理论坐标比较,计算出两个坐标的差值 $(\Delta_h, \Delta_\theta)$ ,即可对太阳轨迹进行修正。

## 3 角位置传感器

因为太阳在一天中相对实验点的移动范围大,在微调对准时,还要求较高的采集精度并具有正反转记数功能和判向功能。为此,采用圆光栅编码器作为角度采集的核心部件。安装时必须保证其旋转轴与电机旋转轴同心,以保证其测量精度。其原理如图3。圆光栅编码器安装在电机转动轴上,电机转动时,圆光栅输出两列方波信号A、B,其相差 $90^\circ$ 。通过判向电路对电机的转动方向进行判断,当电机顺时针转动时,对正向脉冲记数;当电机逆时针转动时,对反向脉冲记数。计算机通过接口电路读入记数值,将正向记数值同反向记数值相减就可得到电机的绝对转动量,从而计算出电机转动的绝对角度。该角度被转换为太阳实际位置的角度存入计算机,以便随时调用,从而知道任意时刻的太阳位置。

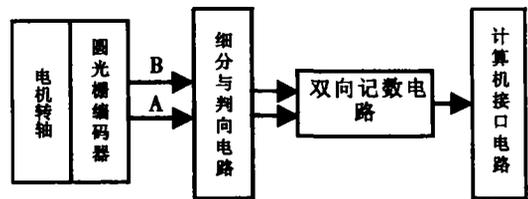


图3 圆光栅编码器应用电路框图

## 4 结论

自然环境跟踪太阳反射聚能加速实验装置正在研制过程中,但利用太阳跟踪传感器在小范围内跟踪太阳与利用太阳轨迹公式在大范围内跟踪相结合的跟踪方案的正确性在此过程中得以逐步证实,并将应用于自然环境的加速老化实验中。它对于我国开发具有自主知识产权的全自动加速老化实验装置,具有重要的意义。

## 参考文献:

- [1] G90 Standard Practice for Performing Accelerated Outdoor Weathering of Nonmetallic Materials Using Concentrated Natural, Sunlight[S]. ASTM Committee on Standards, Annual Book of ASTM Standards.
- [2] 王炳忠. 太阳辐射计算讲座[J]. 太阳能, 1999, (2):8-9.
- [3] 王炳忠, 汤洁. 几种太阳位置计算方法的比较研究[J]. 太阳能学报, 2001, 22(4):413-416.
- [4] 王炳忠, 刘庚山. 日射观测中常用天文的再计算[J]. 太阳能学报, 1990, 12(1):27-32.
- [5] 罗先和, 张广军, 骆飞等. 光电检测技术[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 1995.
- [6] 雷玉堂. 光电检测技术[M]. 北京: 中国计量出版社, 1997, 435-416.

## Method of Sun Automatic Tracking for Accelerated Outdoor Weathering Experiment Equipment

LIN Xiao-gang, GAO Chao, GUO Yong-cai, SHENTU Nan-ying  
(College of Opto-electronic Engineering, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

**Abstract:** Outdoor Accelerated Weathering Equipment is the most widely used outdoor accelerated weathering test method in the world today. The success in development of this equipment will have a far-reaching and promoted effect on R&D of new material and new dope. Automatic and all-weather tracing solar is the tackle key problem. A new method of tracking the sun is presented, and the sun track is corrected with this method. The operation principle of a solar-tracking sensor is introduced.

**Key words:** accelerated weathering; solar-tracking sensor; track correct

(责任编辑 张小强)

(上接第102页)

## Theoretically Investigation of Dynamic Characteristics of Spherical Bubble Collapse in Pulsed Abrasive Water Jet

LU Yi-yu<sup>1</sup>, LI Xiao-hong<sup>1</sup>, YANG Lin<sup>2</sup>

- (1. Key Laboratory for the Exploitation of Southwestern Resources & the Environmental Disaster Control Engineering under Education Ministry, Chongqing University, Chongqing 400044, China;  
2. Department of Mechanical Engineering, Zhuzhou College, Zhuzhou 412008, China)

**Abstract:** This paper theoretically investigates the characteristics of cavitating bubbles in the pulsed abrasive water jet (PAWJ) and establishes the dynamic equations of cavitating bubbles. The effects of abrasive diameter and density on the spherical bubble collapse are also analyzed. It is found that the change of abrasive diameter rarely affects the bubble collapse when the abrasive diameter and density are small whereas the smaller abrasive greatly blocks the bubble collapse when the abrasive diameter and density are comparably big. It is also shown that when the abrasive density is increased, the fluid viscosity rises, and the kinetic energy of the abrasives near the collapsed bubble is enhanced and meanwhile the intensity of cavitating erosion is weakened.

**Key words:** pulsed abrasive water jet; spherical bubble; collapse

(责任编辑 姚飞)