

# 加速自然环境试验装置中太阳跟踪系统研究

李迪凡<sup>1,2</sup>, 杨晓然<sup>1,2</sup>, 刘聪<sup>1,2</sup>, 李泽华<sup>1,2</sup>, 朱玉琴<sup>1,2</sup>

(1. 中国兵器工业第五九研究所, 重庆 400039;

2. 重庆市环境腐蚀与防腐工程技术研究中心, 重庆 400039)

**摘要:** 自然环境加速试验是自然环境试验发展的一个重要方向,对新材料的研究具有推动作用。太阳跟踪装置是自然加速试验中的一种重要设备,文中介绍了一种太阳自动跟踪系统,有效地结合了日点轨迹跟踪方式,并采用双轴式跟踪调整装置,实现了对太阳全天候的实时跟踪。

**关键词:** 自然环境试验; 自然加速试验; 太阳跟踪

**中图分类号:** U467.5<sup>+</sup>25      **文献标识码:** A

**文章编号:** 1672-9242(2012)03-0056-03

## Study of Sun Tracking System for Natural Accelerated Environmental Test Equipment

LI Di-fan<sup>1,2</sup>, YANG Xiao-ran<sup>1,2</sup>, LIU Cong<sup>1,2</sup>, LI Ze-hua<sup>1,2</sup>, ZHU Yu-qin<sup>1,2</sup>

(1. No.59 Research Institute of China Ordnance Industry, Chongqing 400039, China;

2. Chongqing Engineering Research Center for Environmental Corrosion and Protection, Chongqing 400039, China)

**Abstract:** Natural accelerated environmental test is the important development direction of natural environmental test, which has a promoting effect on new material development. The sun tracking equipment is an important device of natural accelerated test. A kind of automatic sun tracking system was introduced, which used sun point function and double axes sun tracking mode. The sun tracking system can realize real time all weather tracking of the sun.

**Key words:** natural environmental test; natural accelerated test; sun tracking

大气暴露试验能够真实反映材料及构件在自然环境中的耐老化性能,由于暴露试验的周期较长,难以满足材料研制、生产和应用的要求。因此,在大气环境试验研究的基础上,国内外大力开展自然加速试验研究,研发了各种自然加速试验设备和方法。

太阳跟踪装置是自然加速试验设备中的一种,主要是利用太阳的能量,强化光和热效应对材料的老化。因此在试验过程中必须保证对太阳的运行轨迹进行实时跟踪,从而达到加速试验的目的。美国早在20世纪60年代就研制了太阳跟踪暴露试验装置,

收稿日期: 2011-12-28

基金项目: 国防技术基础项目(H102009A002)

作者简介: 李迪凡(1976—),男,湖南人,工程师,主要研究方向为装备环境适应性。

日本、西德、捷克和前苏联等国都设计制作了太阳跟踪暴露试验装置,国际上也颁布了相应的试验方法标准,广泛应用于有机高分子材料及制品的自然加速暴露试验。我国与国外在该技术方面存在较大的差距,相关的技术和设备未得到广泛的应用,还未形成系统的标准。加速自然环境试验装置是在跟踪太阳的基础上,在极限自然环境条件下,对试样的加速试验进行设计,在海南已正常运行一年多,加速试验效果明显。文中将对该装置太阳跟踪系统的设计做出阐述。

## 1 原理

太阳跟踪的方法大致有两种,光电跟踪和视日运动轨迹跟踪。光电跟踪是利用光敏传感器来测定入射太阳光线和跟踪系统光轴之间的偏差,当偏差超过一定值时,通过电机驱动跟踪调整装置转动,减小偏差直到入射太阳光线与跟踪系统光轴重新平行,从而实现太阳高度角和方位角的跟踪。光电跟踪灵敏度高、采光效率高,但是成本较高、受天气的影响较大,因此使用范围较窄。视日运动轨迹跟踪就是利用电控单元根据相应的公式和参数计算出太阳的实时位置,然后发出指令给步进电机去驱动太阳跟踪装置,以达到对太阳实时跟踪的目的。视日运动轨迹跟踪的优势较为明显,不受天气的影响,可以大范围推广。视日运动轨迹跟踪又可分单轴跟踪和双轴跟踪,单轴跟踪仅对太阳高度角或方位角进行跟踪,其优点是结构简单,但是由于入射太阳光线不能始终与跟踪系统光轴平行,收集太阳能的效果并不理想。双轴跟踪能够在太阳高度和赤纬角的变化上实现太阳跟踪,以获得最多的太阳光线。本系统采用双轴跟踪方式,利用可编程控制器(PLC)和步进电机驱动双轴,通过对跟踪装置进行高度角和方位角的控制,实现对太阳的全天候跟踪。

太阳轨迹跟踪模型是本系统工作的基础,地球绕太阳运动轨迹如图1所示。太阳轨迹由太阳的高度角和方位角构成,其坐标为 $(h_{\odot}, \theta)$ 。这两点由太阳跟踪装置安放地点的地理纬度和经度对应的地方时(含年、月、日)及当时的太阳时角计算确定<sup>[1]</sup>。

太阳高度角 $(h_{\odot})$ 的计算公式为:

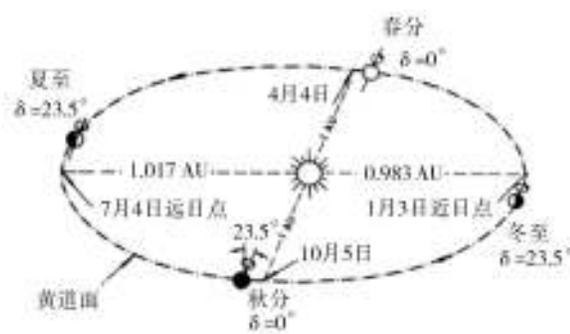


图1 地球绕太阳运动轨迹

Fig. 1 Moving tack of the earth around the sun

$$\sin h_{\odot} = \sin \delta \sin \phi + \cos \delta \cos \phi \cos \tau \quad (1)$$

式中: $h_{\odot}$ 为太阳高度角; $\delta$ 为太阳赤纬角; $\phi$ 为当地的地理纬度; $\tau$ 为当时的太阳时角。

太阳方位角 $(\theta)$ 的计算公式为:

$$\cos \theta = (\sin h_{\odot} \sin \phi - \sin \delta) / (\cos h_{\odot} \cos \phi) \quad (2)$$

由式(2)可求出 $\theta$ 值,当 $\cos \theta \leq 0$ ,即 $90^{\circ} \leq \theta \leq 180^{\circ}$ 时,表示午后的太阳方位;当 $\cos \theta \geq 0$ 时,即 $0 \leq \theta \leq 90^{\circ}$ ,表示午前的太阳方位。根据计算出的太阳高度角和方位角,再与读取俯仰位置和水平位置传感器的实际值进行对比,得到控制方向和俯仰、水平的转动位置。

## 2 跟踪系统设计

### 2.1 控制系统

该装置为双轴跟踪系统,以视日运动轨迹跟踪方法为基础模型,实现对太阳运行轨迹的跟踪和修正。PLC根据高精度GPS定位模块所测定的系统时间、装置所在的经纬度等参数计算出太阳的高度角和方位角作为预设值(自动状态),或者将人为输入的俯仰和水平位置作为预设值(手动状态);同时,将分别安装在水平和旋转主轴上的绝对位置编码器数据读入,将此时实际所处的俯仰和水平角与计算出的太阳角相比较;通过计算运动值,运动方向等参数,并进行PID运算,得到输出的脉冲占空比;利用脉宽调制方式(PWM)输入电机驱动电路,从而控制电机的转动方向和转速。电机转动过程中,实时读取水平位置传感器和俯仰位置传感器的值来确定转动的停止时刻,跟踪系统原理如图2所示。

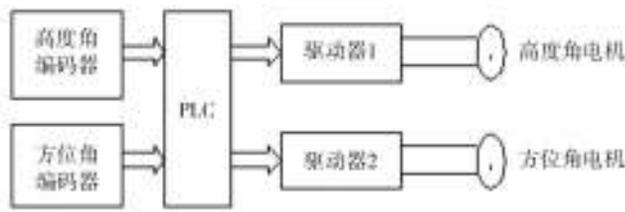


图2 跟踪系统原理

Fig. 2 Principle block diagram of the tracking system

### 2.2 机械传动系统

文中所设计的太阳跟踪装置传动结构分为水平和垂直方向,它主要由底座、主轴、步进电机、减速机和轴角编码器等部件组成。太阳跟踪装置机械系统结构如图3所示。

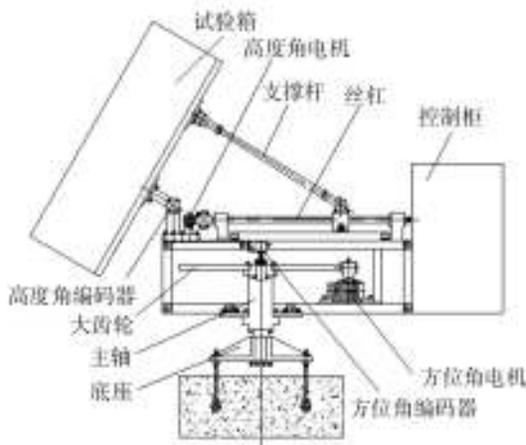


图3 机械系统结构

Fig. 3 Configuration of mechanical system

本装置在水平跟踪结构的设计上参考了自行火炮塔座旋转原理,采用电机-齿轮传动方式实现方位角太阳跟踪,方位角传动机构控制流程为:步进电机→减速器→大齿轮→水平回转台。选用的两相步进电机最大转速为1 500 r/min,减速器传动比为1:50,转台的减速比为1:440。俯仰跟踪结构在设计上参考了自卸车升降系统结构原理,采用电机-滚珠丝杠传动方式,带动支撑杆升降,使试验箱绕水平轴在0°~90°范围内旋转,实现对太阳俯仰角的跟踪运动。高度角传动机构控制流程为:步进电机→减速器→丝杠→支撑杆→试验箱。因此,当高度角传动机构选用的两相步进电机最大转速为1 500 r/min,减

速器传动比为1:70、转台的减速比为1:350时,即可保证其跟踪的精度。步进电机步(保持转矩为0.65 N·m,步距角为0.9°)驱动器选用64细分,步进电机步距角仅为0.9(°)/64=0.014°<sup>[2]</sup>。

每次进行太阳跟踪前,方位角和高度角需要自动复位,然后根据太阳当前位置从起始点处自动快速指向太阳;接着每间隔3 min,自动跟踪一次,使样品表面始终垂直于太阳光线,以实现实时太阳跟踪。自动跟踪系统流程如图4所示。对方位角跟踪时,自动跟踪装置利用蜗轮蜗杆副传动,能使用功率较小的步进电机传递足够大的动力。蜗轮蜗杆副具有自锁功能可以使系统在进行视日运动结束后断开系统供电,这样既节省了能源,又锁定了太阳位置。在此系统的两个自由度方向各设有一个触点开关,用来标定高度角和方位角每天的初始位置。每天系统启动后,会先在两个自由度方向自动转动,当触碰到限位开关时,即到达初始位置,方位角和高度角的调整从此开始,保证了系统的精度。整个跟踪器的结构紧凑,刚度较高。传动装置设置在支撑架下,受到了较好的保护,提高了传动装置的寿命。

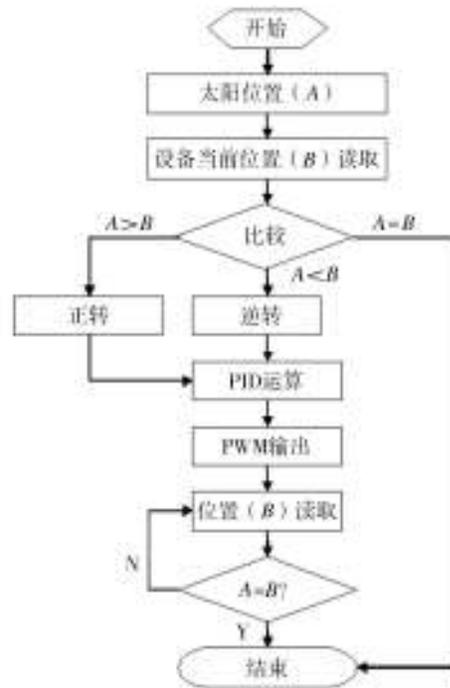


图4 跟踪系统程序流程

Fig. 4 The program flow chart of the tracking system

目前,该太阳跟踪系统已投入使用,运行良好。

(下转第70页)

作用,浸泡1 a的船体钢外锈层对腐蚀影响较小,Cr元素在内锈层和基体交界面的富集是决定腐蚀速率的主要因素。

2) 内锈层的缺陷使锈层对船体钢基体的保护效果变差,缺陷部位对应着基体上的腐蚀坑。其中,c钢的最大腐蚀深度较大,但腐蚀速率最小。

参考文献:

[1] 张承忠. 金属的腐蚀与保护[M]. 北京:冶金工业出版社, 2000.

[2] MELCHERS R E, JEFFREY R. Early Corrosion of Mild Steel in Seawater[J]. Corrosion Science, 2005, 47 (7) : 1678—1693.

[3] 徐龙娇,董超芳,肖葵,等. Cl<sup>-</sup>作用下碳钢和耐候钢大气初期腐蚀的 Kelvin 探针研究[J]. 北京科技大学学报, 2010,32(5):581—588.

[4] 张全成,王建军,吴建生,等. 锈层离子选择性对耐候钢抗海洋性大气腐蚀性能的影响[J]. 金属学报,2001,37(2):193—196.

[5] 王建民,陈学群,李国民,等. 两类船用低合金钢耐点蚀性能的比较[J]. 中国腐蚀与防护学报,2005,25(6):356—360.

[6] 邹妍,王佳,郑莹莹. 锈层下碳钢的腐蚀电化学行为特征[J]. 物理化学学报,2010,26(9):2361—2368.

[7] PINEAU S, SABOT R, QUILLET L. Formation of the Fe ( II - III ) hydroxysulphate Green Rust during Marine Corrosion of Steel Associated to Molecular Detection of Dissimilatory Sulphite-reductase[J]. Corrosion Science, 2008, 50(4):1099—1111.

[8] 张全成,吴建生,陈家光,等. 暴露1年的耐大气腐蚀用钢表面锈层分析[J]. 中国腐蚀与防护学报,2001,21(5):297—300.

[9] 魏宝明. 金属腐蚀理论及应用[M]. 北京:化学工业出版社,2004.

[10] 王建军,郭小丹,郑文龙,等. 海洋大气暴露3年的碳钢与耐候钢表面锈层分析[J]. 腐蚀与防护,2002,23(7):288—291.

(上接第51页)

研究[J]. 计算机集成制造系统,2005,11(10):1491—1495.

[4] 刘祥华,张作刚. 基于灰色系统理论的小样本飞机航材消耗预测[J]. 统计与决策,2007(11):39—41.

[5] 贾占强,梁玉英. 灰色GM(1,1)模型在电子装备寿命预测中的应用[J]. 火力与指挥控制,2008,33(11):134—136.

[6] 李建民. 基于灰色理论的舰船装备剩余寿命预测模型[J]. 舰船电子工程,2009,29(3):99—101.

[7] 杨云川,王新颖,张旭波. 引入修正因子的研究生招生等维新息预测模型[J]. 辽宁科技大学学报,2010,33(3):285—288.

[8] 王永刚,吕学梅. 民航事故征候的关联度分析和灰色模型预测[J]. 安全与环境学报,2006,6(6):127—130.

(上接第58页)

该系统的跟踪误差为±0.5°,具有良好的跟踪精度。

3 结论

文中介绍的太阳跟踪系统结构简单、能实现对太阳的全天候自动跟踪。该跟踪装置以视日运动轨迹为模型,利用PLC控制步进电机进行驱动,使成本大幅度降低,具有较好的太阳相对位置测量精度和

太阳自动跟踪速度。该装置已成功应用于自然环境加速试验中,并且获得了国家发明专利授权。

参考文献:

[1] 林晓钢,高潮,郭永彩,等. 自然环境加速实验装置中自动太阳跟踪方法[J]. 重庆大学学报,2002,26(5):115—117.

[2] 杨晓然,李迪凡,周学斌,等. 一种大气环境综合自然加速试验系统:中国,101718676 A[P]. 2010-06-02.