

基于 NI 的疲劳裂纹扩展试验摄像头运动控制系统*

周 寅,高红俐,钟建飞,沈姗姗,云 艳

(浙江工业大学 特种装备制造与先进加工技术教育部/浙江省重点实验室,浙江 杭州 310014)

摘要:针对疲劳裂纹在线检测的问题,提出了基于 NI 运动控制技术的疲劳裂纹扩展试验摄像头运动控制方法。该系统主要包括 CCD 摄像机、镜头、云台、NI-PCI-7334 运动控制卡、光源照明系统、NI-PCI-1410 图像采集卡、计算机以及安装在计算机内的图像处理软件和上位机运动控制软件。根据摄像头在图像采集过程中的动作要求,设计了运动控制方案,采用 NI Motion 软件包开发了四轴运动控制程序。实验结果显示,该系统可以实现疲劳试验中摄像头单步/连续运动及试验过程中的裂纹自动跟踪,摄像头定位精度达到 0.05 mm。

关键词:疲劳裂纹扩展试验;电荷耦合器件;步进电机;运动控制;NI Motion

中图分类号: TH871.3;TH74;TP23

文献标志码: A

文章编号: 1001-4551(2012)01-0058-04

Camera movement control system in fatigue crack propagation test based on NI technology

ZHOU Yin, GAO Hong-li, ZHONG Jian-fei, SHEN Shan-shan, YUN Yan

(Key Laboratory of E&M, Ministry of Education & Zhejiang Province,
Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310014, China)

Abstract: Aiming at the problem of on-line fatigue crack detection, a camera motion control method applied to the fatigue crack propagation test based on NI technology was supplied. The system includes CCD cameras, lenses, PTZ, motion control card PCI-7334, a lighting device, image acquisition card PCI-1410, computer with the image processing software and PC movement control software. In accordance with the camera movement requirements during image acquisition, the motion control structure was designed, four-axes movement control application software was developed with NI Motion tool. The experiment results show that the single step/continue movement and automatic tracking of the cameras are performed during the fatigue test and the camera position control accuracy reaches 0.05 mm.

Key words: fatigue crack propagation test; charge coupled device (CCD); stepping motor; motion control; NI Motion

0 引 言

疲劳裂纹扩展试验是一种通过实时测量试件在设定交变载荷作用下所产生疲劳裂纹的长度来研究金属材料疲劳断裂特性的测试方式^[1],该试验要求对疲劳裂纹长度进行实时观测,而疲劳裂纹的萌生和扩展是一个复杂而缓慢的非线性演化过程,传统的显微镜法检测往往由人工来完成或大部分环节需要人工参与,不仅工作效率低,而且易受到检测人员主观因素的影响,不能保证检测的效率与精度,已经不能满足试验的要求。采用

机器视觉技术的裂纹在线检测方法,可以直观、精确、实时地完成裂纹的检测和进一步的分析处理^[2-4],机器视觉裂纹检测方法采用摄像头作为疲劳裂纹的实时检测机构,为采集到完整、清晰、分辨率高的试件裂纹图像,需手动和自动调整摄像头和试件之间的相对位置,手动调整方式是在试验准备进行聚焦和图像位置调整,分为摄像头单步和连续运动两种调节方式,而更重要的是,随着阶段疲劳试验的进行,裂纹尖端不断延伸,摄像头必须随之精确跟踪定位才能拍摄到裂纹扩展完整的图像,即摄像头自动跟踪调整方式。

收稿日期: 2011-07-06

基金项目: 浙江省科技计划(面上)科研资助项目(2007C21080)

作者简介: 周 寅(1986-),男,浙江金华人,主要从事先进制造与现代设计技术方面的研究。E-mail: 450312614@qq.com

本研究提出的疲劳裂纹扩展试验摄像头运动控制系统是基于虚拟仪器运动控制技术的,该系统采用 NI-PCI7334 运动控制卡控制高精度细分的步进电机来完成摄像头的位置调整,其开发时间短,功能丰富,可实现摄像头高精度位置控制^[5-7]。

1 疲劳裂纹扩展试验摄像头运动

1.1 疲劳裂纹扩展试验摄像头运动形式

疲劳裂纹扩展试验摄像头运动控制系统中装有前、后两个摄像头,可拍摄试件前后两面的裂纹。摄像头可实现 X 、 Y 、 Z 3 个轴向的点对点直线运动,运动形式如图 1 所示。摄像头 X 轴方向的移动,即平行与试件的表面进行水平运动,通过该运动摄像头可以将裂纹调整至图像的合适位置,亦可实现裂纹的自动跟踪。摄像头 Y 轴方向的移动,即摄像头垂直试件表面进行移动,此功能可以实现摄像头的手动聚焦。摄像头 Z 轴方向的移动,即高度的调节,是通过手动旋转丝杠实现的,在进行实验前,首先要调节 Z 轴,保证摄像头处在正确的高度位置上。

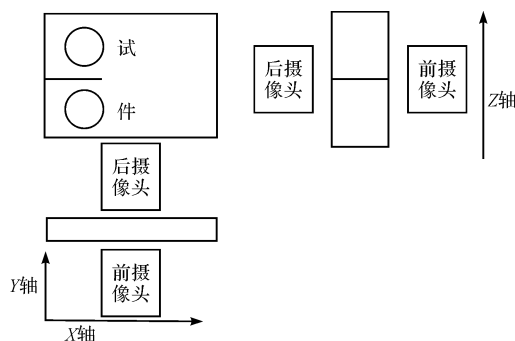


图 1 摄像头调整运动形式示意图

1.2 疲劳裂纹扩展试验摄像头运动控制要求

摄像头的运动控制主要是对步进电机的控制,控制的目的是要实时、精确、稳定地实现点到点的直线运动,达到精确定位 0.05 mm 的控制精度要求。因为步进电机拖动负载运动时,在启动过程中如果速度太快可能造成电机的失步甚至根本不动,而在运动将要结束时如果速度过大,由于惯性的存在,可能引起电机的过冲。为了避免这些问题发生,应提高对步进电机控制的精度,电机在运动的过程中要满足“加速—恒速—减速—停止”的过程^[8-11]。

2 摄像头运动控制系统

2.1 摄像头运动控制系统原理

摄像头运动自动调节系统的总体框架如图 2 所

示。系统主要包括 CCD 摄像机、镜头,摄像头云台、运动控制卡,光源照明系统、图像采集卡、计算机以及安装在计算内的图像处理软件模块和上位机运动控制软件模块。

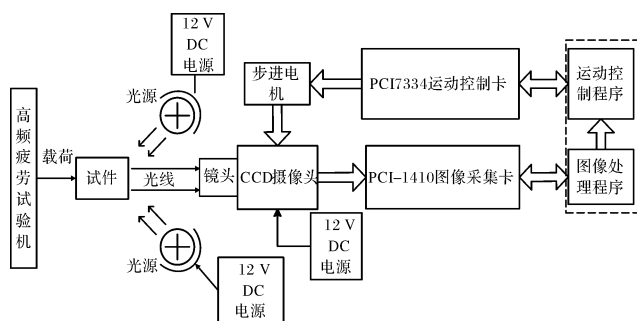


图 2 摄像头运动控制系统总体框图

工作过程:首先使用高频疲劳试验机对试样进行高频疲劳试验,同时将光源照射到试件上,经试件反射光线通过镜头成像到 CCD 摄像头上,CCD 将试件投影所形成的光信号转换成电信号,图像采集卡将 CCD 所形成的模拟图像信号转化为数字信号,也就是将原始图像经过采样和量化转换为数字图像,然后通过 PCI 总线将采集卡内存中的图像传送到计算机内存中,通过图像处理程序将所采集到的图像进行显示、处理,通过运动控制程序操作界面选择操作方式,手动调整是在试验准备阶段进行 Y 轴方向聚焦和 X 、 Z 轴方向图像位置调整,可进行摄像头单步和连续运动调节,而更重要的是摄像头自动跟踪调整方式,随着疲劳试验的进行裂纹尖端不断延伸,摄像头必须随之精确跟踪定位才能拍摄到裂纹扩展完整的图像,然后将采集到的图像进行拼接计算出裂纹扩展长度。

裂纹扩展摄像头自动跟踪闭环控制原理如图 3 所示,计算机将 CCD 摄像头所采集的裂纹图像通过图像处理程序进行处理,计算出裂纹扩展长度,当裂纹扩展长度大于一定数值后通过全局变量数组将此数据传送给摄像头运动控制程序模块,运动控制程序根据该信号发命令给运动控制卡,运动控制卡控制步进电机带动摄像头云台运动实现裂纹扩展的跟踪定位并进行图像采集。裂纹图像处理程序是基于 NI 图像处理工具包 IMAQ Vision,摄像头运动控制程序是基于 NI 运动控制工具包 IMAQ Motion 开发的。

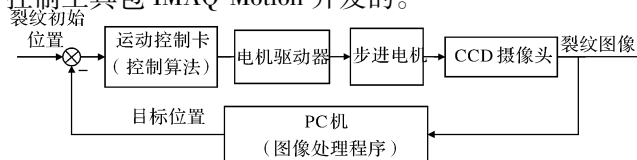


图 3 裂纹扩展摄像头自动跟踪闭环控制原理框图

2.2 摄像头运动控制系统硬件控制方案

本研究选用的方案是运动控制卡控制步进电机,

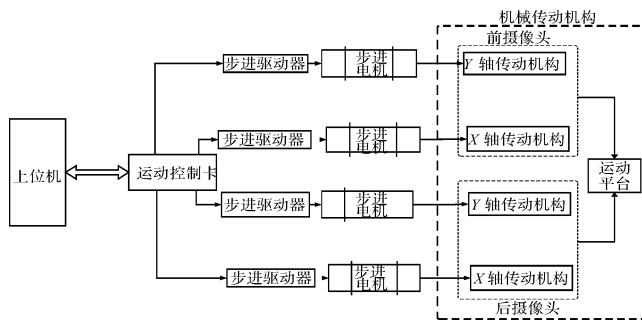


图4 硬件控制方案

硬件控制方案如图4所示。主要设计思路是用户通过PC机向四轴运动控制卡发送控制信息,运动控制卡将

控制信息转换成相应的脉冲信号,再由电机驱动将脉冲信号放大从而控制步进电机的运动,实现云台的移动,将CCD调整到合适的位置进行拍摄。

2.3 硬件的组成及连接

该系统选用的核心器件为NI公司生产的PCI-7334运动控制卡,该卡的控制轴数为四轴,可控制步进电机、伺服电机。UMI-7764驱动接口,这是与PCI-7334运动控制卡相配套的第三方器件,可以将NI的运动控制卡与直流电源、伺服放大器、步进驱动器、电机、编码器、行程限位开关等方便地相连。其他器件为SH68-C68-S连接线,4个42BYG250FC步进电机、HB202M驱动器,图像采集卡PCI-1410,CCD摄像机等。电机控制的硬件连接图如图5所示。

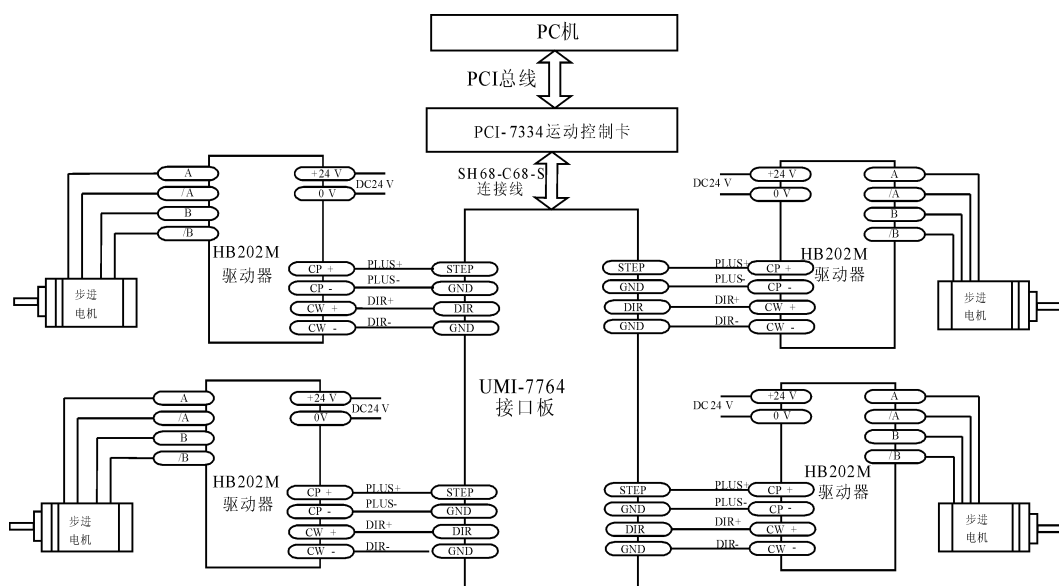


图5 电机控制的硬件连接

2.4 软件设计与实现

本研究的软件设计分成X、Y轴方向上单步/连续的开环控制,和X轴方向上裂纹自动跟踪闭环控制。

软件的总体流程如图6所示。在运行时,首先要选择控制的摄像头,让其采集图像,再选择控制轴及运动的方向、方式。当选用连续或者单步控制时,用户可观察摄像头拍摄的图像,控制电机的移动,直到电机运动到满意的位置时停止。当选择的是自动跟踪模式时,因为裂纹的扩展方向是一定的,摄像头在自动跟踪时只做X轴的单一方向运动,程序在开始的时候规定了电机的运动方向。当设置好速度以后,程序读取裂纹扩展模块的裂纹生长数据(裂纹扩展模块本中不涉及,故在此不详述)。当裂纹生长的长度大于等于

5 mm时,程序计算电机运动的步数,控制电机带动摄像头跟随裂纹进行拍摄。

自动跟踪程序的流程图如图7所示。

3 实验及实验结果分析

实验的实物平台如图8所示。

在进行实验前,首先要保证电机、运动控制卡、电源等设备能正常的工作。实验进行前先调节X轴将摄像头移动到预制裂纹区域,再调节Y轴完成聚焦。

程序人机界面如图9所示,裂纹跟踪前后摄像头采集的图像如图10所示。为了验证该系统在自动跟踪过程中对步进电机的控制精度,本研究在X轴电机上安装两根测量杆,一根安装在固定的电机支架上,另

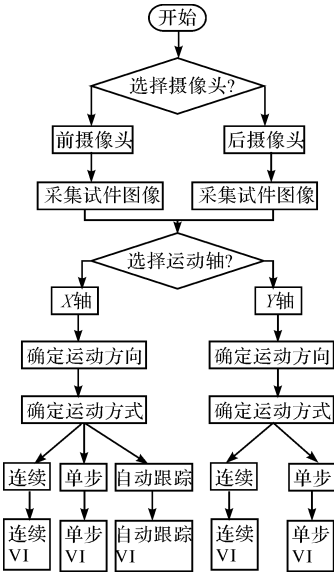


图 6 软件总体流程

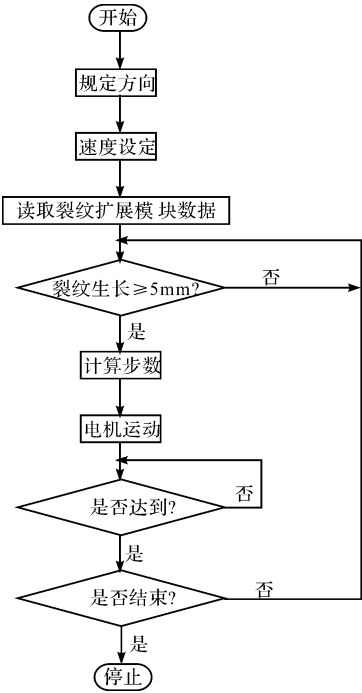


图 7 自动跟踪流程

一根安装在摄像头的连接板上,电机运动后定杆和动杆之间的距离会发生变化,使用精度为 0.01 mm 的游标卡尺测量两个测量杆之间的距离变化,从而可以得到电机的实际运动位移,并计算得到误差。经过多次实验取测量误差最大的 4 组数据,验证电机控制的精度实验数据如表 1 所示。

实验结果证明本研究提出的基于 NI 的疲劳裂纹扩展试验摄像头运动控制系统能很好地跟踪裂纹进行拍摄,但由于机械传递结构,步进电机本身存在的误差导致测量的精度不是固定的数值,经过多次实验测量本系统最大的实验误差为 0.04 mm,完成了系统的定



图 8 实验台实物平台

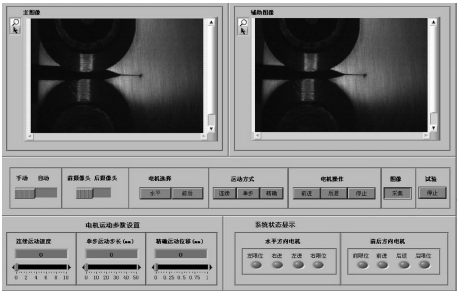


图 9 参数设定界面

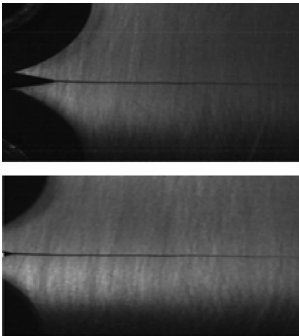


图 10 裂纹跟踪前后摄像头采集的图像

位精度0.05 mm的设计要求。

表 1 误差最大的 4 组数据

实验次数	1	2	3	4
实验数据/mm	4.96	4.96	4.97	5.03

4 结束语

为了实现疲劳实验中对疲劳裂纹的跟踪,本研究提出了一种基于 NI 的摄像头自动跟踪在线测量方法。从实验结果可以证明该系统可以通过在 PC 机上直接发送指令控制电机使摄像头移动到需要的位置,在闭环实验中摄像头能追踪裂纹进行拍摄,达到了对摄像头控制精度 0.05 mm 的控制要求。

(下转第 65 页)

加明显。

4 结束语

本研究设计的太阳自动跟踪装置与传统的两轴太阳跟踪装置相比,有两个特点:①采用新型的并联机构,伸缩杆采用柔性金属连线代替,可以保证电池板重心落在支架上,同时降低成本,削减了使用电动伸缩杆或液压缸的成本;②将太阳能板固连于牛眼轮上,重心落在支架上,可以使用更小的力矩完成姿态的改变。实验结果证明,该装置具有跟踪精度高,驱动功耗低的特点。

该装置结构简单、成本低、跟踪精度高,具有较好的应用前景。

参考文献 (References):

- [1] 吕文华,贺晓雷,于贺军,等. 全自动太阳跟踪器的研制和应用[J]. 光学精密工程,2008, 12(5):2544-2550.
- [2] 刘俊,刘京诚,谢磊,等. 太阳光自动跟踪装置的设计[J]. 机床与液压,2010,38(9):45-48.
- [3] ARDEHALI M M, SHAHRESTANI M, CHARLES C. Energy simulation of solar assisted absorption system and examination of clearness index effects on auxiliary heating[J]. **Energy Conversion and Management**, 2007, 48(3): 864-870.

- [4] 李玲,谢建,杨祚宝. 光伏系统最大功率点跟踪方法[J]. 可再生能源,2007,25(2):85-87.
- [5] MUTOH N, MATUO T. Prediction data based maximum power point tracking method for photovoltaic power generation systems[J]. **Power Electronics Specialists Conference**, 2002,28(3): 1489-1494.
- [6] KASA N, HIDA T. Flyback inverter controlled by sensorless current MPPT for photovoltaic power system[J]. **IEEE Transactions on Industrial Electronics**, 2005, 52(4): 1145-1152.
- [7] 马宝丽. 基于VB软件的盘形凸轮机构的参数化设计与运动分析[J]. 轻工机械,2010(6):56-59.
- [8] 许守平,李斌,马胜红. 槽式太阳能热发电跟踪控制系统研究[J]. 计算机测量与控制,2008, 16(11): 1635-1637.
- [9] 尤金正,邹丽新. 太阳自动跟踪系统的设计[J]. 现代电子技术,2009, 19(5):139-142.
- [10] 李茗,郑送军. 主动视觉平台机构中虎克铰的设计与计算[J]. 轻工机械,2010(5):32-35.
- [11] 马建华,潘玉良. 基于单片机的太阳跟踪控制系统设计[J]. 机电工程,2010,27(12):63-66.
- [12] 邹建,姬兴,杜海涛. 一种新型的太阳自动跟踪系统研究[J]. 光电子技术,2010,30(3):159-163.

[编辑:张翔]

(上接第61页)

参考文献 (References):

- [1] 北京航空材料研究院. GB/T 6398-2000 金属材料疲劳裂纹扩展速率试验方法[S]. 北京:国家质量技术监督局,2001.
- [2] 刘义伦. 工程构件疲劳寿命预测理论与方法[M]. 长沙:湖南科学技术出版社,1997.
- [3] 莫国影,左敦稳,黎向锋. 基于CCD图像的表面疲劳裂纹检测方法[J]. 机械制造与自动化,2008, 37(6): 55-57, 59.
- [4] VANLANDUIT S, VANHERZEELE J, LONGO R, et al. A digital image correlation method for fatigue test experiments[J]. **Optics and Lasers in Engineering**, 2009,47(3-4):371-378.
- [5] DIAZ F V, ARMAS A F, KAUFMANN G H, et al. Nondestructive evaluation of the fatigue damage accumulation process around a notch using a digital image measurement

system[J]. **Optics and Lasers in Engineering**, 2004, 41(3): 477-487.

- [6] 王伟,熊静琪. 在LabVIEW8.5平台上构建一种二维运动控制系统[J]. 中国测试技术,2005,31(6):104-106.
- [7] 毛计庆. Labview8.2快速构建步进电机控制系统的利器[J]. 电机与控制应用,2009,36(1):30-32.
- [8] 张卫星,赵峰. 基于LabVIEW的运动控制系统的研究[J]. 工业控制计算机,2008, 21(4): 26-28.
- [9] 王淑芳. 基于虚拟仪器技术的多轴步进电机控制系统[J]. 微计算机信息,2006, 25(22): 54-57.
- [10] 周志明. 基于运动控制卡的步进电机控制系统[J]. 煤矿机械,2004(3): 95-97.
- [11] CARRICA D O GONZALEZ S A, BENEDETTI M. A high speed velocity control algorithm of multiple stepper motors[J]. **Mechatronics**, 2004, 14(6): 675-684.

[编辑:张翔]