

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.
G01N 3/00 (2006.01)



[12] 发明专利申请公布说明书

[21] 申请号 200810207563.2

[43] 公开日 2009年5月27日

[11] 公开号 CN 101441154A

[22] 申请日 2008.12.23

[21] 申请号 200810207563.2

[71] 申请人 华东理工大学

地址 200237 上海市徐汇区梅陇路130号

[72] 发明人 易建军 陈昌明 王亮 丁玉洁
刘哲

[74] 专利代理机构 上海翼胜专利商标事务所
代理人 翟羽

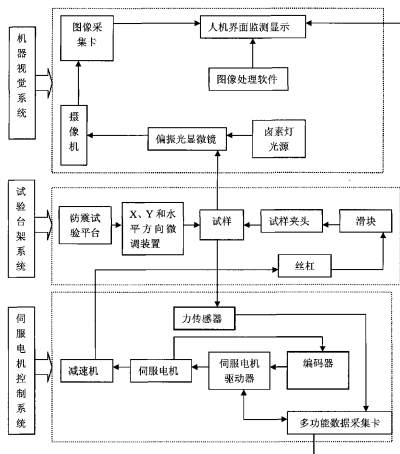
权利要求书2页 说明书10页 附图2页

[54] 发明名称

一种高精度显微疲劳试验机

[57] 摘要

本发明公开了一种高精度显微疲劳试验机，包括试验台架系统、伺服电机控制系统和机器视觉系统；伺服电机控制系统通过多功能数据采集卡与伺服电机驱动器相连，伺服电机驱动器与伺服电机相连，伺服电机与减速机相连，减速机与试验台架系统中的丝杠相连，丝杠通过滑块与夹具相连，夹具中的试样与偏振光显微镜相连，偏振光显微镜与摄像机相连，摄像机通过图像采集卡在人机界面监测显示，由图像处理软件测量出微观裂纹的尺寸。本发明的优点：结构紧凑轻巧，操作简单，维护容易，高效节能。



1. 一种高精度显微疲劳试验机，包括试验台架系统、伺服电机控制系统和机器视觉系统；其特征在于，伺服电机控制系统通过多功能数据采集卡与伺服电机驱动器相连，伺服电机驱动器与伺服电机相连，伺服电机与减速机相连，减速机与实验台架系统中的丝杠相连，丝杠通过滑块与夹具相连，夹具中的试样与偏振光显微镜相连，偏振光显微镜与摄像机相连，摄像机通过图像采集卡在人机界面监测显示。

2. 根据权利要求1所述的一种高精度显微疲劳试验机，其特征在于，所述的伺服电机控制系统，包括伺服电机、伺服电机驱动器、编码器、力传感器、信号调理电路板和多功能数据采集卡；伺服电机驱动器通过端子将电流输出给伺服电机，编码器连接在伺服电机后面，通过编码器反馈信号反馈给伺服电机驱动器；伺服电机驱动器通过控制器接口接收PC机的多功能数据采集卡的信号；信号调理电路板连接伺服电机驱动器和多功能数据采集卡，同时还接收力传感器的反馈信号给PC机。

3. 根据权利要求2所述的一种高精度显微疲劳试验机，其特征在于，所述的伺服电机和伺服电机驱动器之间的控制电路，包括电源接口和编码器接口，在伺服电机上配了2500p/r增量型编码器，编码器的A相、B相、Z相信号，均采用差分方式输出，使得伺服电机和伺服电机驱动器之间距离达到20米。

4. 根据权利要求2所述的一种高精度显微疲劳试验机，其特征在于，所述的伺服电机与伺服电机驱动器的连接，伺服电机驱动器通过端子U、V、W和接地线与伺服电机连接，给伺服电机输入三相交流电流。

5. 根据权利要求1所述的一种高精度显微疲劳试验机，其特征在于，所述的试验台架系统，包括一套防震试验平台、加载台、X、Y和水平方向微调

装置；加载台通过螺钉连接于防震台上，夹具位于加载台上，X、Y 和水平方向微调装置来调节加载台的位置。

6. 根据权利要求 1 所述的一种高精度显微疲劳试验机，其特征在于，所述的机器视觉系统，包括偏振光显微镜、卤素灯光源、摄像机、图像采集卡、PC 机，人机界面监测显示以及图像处理软件；其中，卤素灯光源安装在装夹的试样上方，摄像机装在偏振光显微镜目镜处，然后将拍摄的模拟视频信号通过屏蔽线连接到 PC 机上，将视频采集卡的模拟视频信号输入，完成 AD 转换为数字信号，再通过图像处理软件进行处理。

一种高精度显微疲劳试验机

【技术领域】

本发明涉及试验机技术领域。具体的说，是一种高精度显微疲劳试验机。

【背景技术】

随着计算机技术和机电技术的发展，显微疲劳试验机的不足和局限性日益凸现，主要体现在几个地方：动力源系统结构复杂、控制精度低；图像采集和控制软件是基于 DOS 系统编制，不仅运算和控制响应较慢，而且已不能在 WINDOWS 平台上运行；力传感器的准确性和灵敏度较低。具体体现在以下三个方面。

（1）动力系统：

原来的显微疲劳试验机的加载系统结构复杂，占地面积大，载荷大小调节及频率调节十分不便捷，由于液压系统中的油有一定粘度，所以在传递力时会有一定的滞后效应，载荷在调节时控制精度低，调节有一定的滞后时间，而且液压油容易泄漏，污染环境；

（2）控制软件：

原显微疲劳控制软件是在上世纪 90 年代个人计算机还不是很普及的情况下开发的，软件的源程序由 C 语言编写，并在 DOS 环境下运行；

由于是 DOS 环境下运行，软件的操作相对较繁琐，需要相关的程序、文件在同一目录下，程序的界面交互性不好；受内存和硬盘的限制，试验不能处理和存储很大数据量，对于载荷的采集精度不高，无对动载荷曲线的自动

调整功能，程序也无法完成对载荷大小的控制，除此之外原控制程序用 C 语言开发，程序的可读性受编程人员的编程风格影响很大，所以程序不易被他人读懂，可维护性不高，不利于后继人员的升级改造；

(3) 力传感器：

最初的力传感器是发明人的试验室设计制作，至今已可靠运行有十余年；但由于长时间的服役运行也给现在的使用带来的问题，主要表现为：(1) 应变片和粘结剂老化，造成传感器灵敏度和可靠性的下降；(2) 电路及接线设计自行研制，不具备可通用性；(3) 传感器信号输出不标准，增大后继开发的难度；(4) 传感器密封性不好，不能有效防尘，造成精度的降低；

显微疲劳试验方法要能连续地观测在疲劳载荷作用下试样表面微观形貌的细微变化；因此，疲劳试验既要给试样施加疲劳载荷，又能同时显示试样表面的微观形貌；试验要可以容易地停止下来，并继续进行下去；载荷的大小要易于控制，微观形貌的图片采集存储要易于操作，在试验过程中还要保证试验的可靠性，尽量减少人为干扰因素。

中国专利公开号 CN2694257 公开了等谐振式数字化高频疲劳试验机，其将电机固定在托盘上，电机连接有减速器，减速器上装有软轴，软轴通过传动带连接丝杆，在托盘的四个角上分别装有减振弹簧，减振弹簧的顶端固定在台面底部。中国专利公开号 CN101101247 公开了一种数字式自适应电液疲劳试验机，由液压系统和控制系统组成；其中液压系统包括泵站、伺服阀、液压缸和液压管路；控制系统包括数字控制器、力和位移传感器、功率放大器和 A/D、D/A 转换器；控制系统分别设置力控系统和位置控制系统，两者可以无缝切换；控制系统中的数字控制器采用工控机，在数字控制器中采用了自适应调节方法；力控系统采用了增益自整定方法；控制系统中传感器的信

号调理采用数字信号处理技术。中国专利公开号 CN200965490 公开了机械式橡胶球铰疲劳试验机，其包括机架，异步电动机，一级齿轮变速箱，往返振动机构，联轴器，工作台，电动机支座，载荷传感器，试验机底座，异步电动机采用工业供电系统和变频调速装置可切换供电的异步电动机驱动，齿轮变速箱为一级齿轮变速箱减速，往返振动机构采用曲柄连杆装置驱动可调节偏心距的偏心加载组件机构，试验载荷是通过偏心加载组件机构带动绕固定支点运动的零位调整加载连杆，驱动橡胶球铰外套作上下方向的直线往复振动完成的直线往复振动，同时驱动两个橡胶球铰在径向做往返振动完成的。

中国专利公开号 CN201016905 公开了一种疲劳试验机，其导轨（7）下端固定于机座（1）上，上端与机架（6）固定连接；上夹持器（9）与机架（6）固定连接，下夹持器（11）滑动安装在导轨（7）上；与主电机（3）传动连接的传动轮（5）的轮轴连接曲柄（13），与曲柄（13）配合的连杆（12）的另一端与下夹持器（11）连接。中国专利公开号 CN1072260 公开了一种低频疲劳试验机，其采用弹簧配重调心和组合调速的机械式设备。中国专利公开号 CN2283847 公开了弹簧疲劳试验机，包括机架、上、下夹板及其固定螺栓、质量铁块以及驱动头构成，受试验弹簧装置于夹板及质量铁块之间，在机架上装置驱动头，驱动头是由铁芯及其激磁线圈构成，铁芯一端装于机架上，另一端插入激磁线圈，激磁线圈中心线与质量铁块面垂直。中国专利公开号 CN2404115 公开了一种变载荷冲击性低周疲劳试验机，其包括工作气缸（4）、钢丝牵引装置、砝码重锤、控制台等组成，工作气缸为可调缓冲气缸（4）、工作气缸的气路上设有电磁换向阀（5）、质量流量控制器（14）和调速阀，砝码重锤（8）底部设有传感器（10），传感器和控制台设有信号线连接，控制台设有控制线连接电磁换向阀（5）的电磁控制端。目前未见采用伺服电机

控制系统与机器视觉系统的疲劳试验机的报道。

【发明内容】

本发明的目的在于克服现有技术的不足，提供一种高精度显微疲劳试验机。

本发明的目的是通过以下技术方案来实现的：

一种高精度显微疲劳试验机，包括试验台架系统、伺服电机控制系统和机器视觉系统；伺服电机控制系统通过多功能数据采集卡与伺服电机驱动器相连，伺服电机驱动器与伺服电机相连，伺服电机与减速机相连，减速机与实验台架系统中的丝杠相连，丝杠通过滑块与夹具相连，夹具中的试样与偏振光显微镜相连，偏振光显微镜与摄像机相连，摄像机通过图像采集卡在人机界面监测显示；

所述的伺服电机控制系统，包括伺服电机、伺服电机驱动器、编码器、力传感器、信号调理电路板、多功能数据采集卡；伺服电机驱动器通过端子将电流输出给伺服电机，伺服电机进行旋转，编码器接在伺服电机后面，通过编码器反馈信号反馈给伺服电机驱动器；伺服电机驱动器通过控制器接口接收 PC 机的多功能数据采集卡的信号，进而控制伺服电机运动；信号调理电路板连接伺服电机驱动器和多功能数据采集卡，同时还接收力传感器的反馈信号给 PC 机；

其中，所述的伺服电机和伺服电机驱动器之间的控制电路，包括电源接口和编码器接口，在伺服电机上配了 2500p/r 增量型编码器，编码器的 A 相、B 相、Z 相信号，均采用差分方式输出，使得伺服电机和伺服电机驱动器之间距离达到 20 米；

所述的伺服电机与伺服电机驱动器的连接，伺服电机驱动器通过端子 U、V、W 和接地线与伺服电机连接，给伺服电机输入三相交流电流；

伺服电机控制系统作为疲劳实验机的动力系统，主要完成 PC 机对伺服电机的运动控制、采集伺服驱动器反馈信号、试样受力信号的采集及闭环控制算法，信号调理电路主要完成对力传感器输出的差分模拟信号进行调理和转换，使之可以被数据采集卡接受，进行模数转换；

所述的试验台架系统，包括一套防震试验平台、加载台、X、Y 和水平方向微调装置；加载台通过螺钉连接于防震台上，夹具位于加载台上，来保证加载时受力拉伸方向平行于试样表面，X、Y 和水平方向微调装置来调节加载台的位置；

试验台架系统的设计一方面是为了充分发挥显微镜应有的特性，达到满意的成像要求；另一方面的要点是保持对试样的水平轴向加载，避免产生弯矩；

所述的机器视觉系统，含有偏振光显微镜、卤素灯光源、摄像机、图像采集卡、PC 机，人机界面监测显示以及图像处理软件；其中，卤素灯光源安装在装夹的试样上方，摄像机装在偏振光显微镜目镜处拍摄金相表面图像，然后将拍摄的模拟视频信号通过屏蔽线连接到安装于 PC 机上的，将视频采集卡的模拟视频信号输入，完成 AD 转换为数字信号，再通过图像处理软件进行处理；

机器视觉系统主要实现试样疲劳裂纹区域的图像放大、采集、程序中视频显示、图像抓取和图像处理等；显微镜对试样的放大倍数、总放大倍数及试样表面尺寸观察范围如表 1 所示，放大后的试样经模拟摄像机的拍摄形成连续的视频流，经图像采集卡 A/D 转换成数字图像，再经计算机软件的图像

采集在计算机程序中显示视频图像；抓取有用的图像，通过图像处理软件包对裂纹长度精确测量，并与试样受力循环次数、最大力值、最小力值、受力频率及拍摄时间等存入图像中，为以后的研究做准备。

在软件的帮助下，计算机可以自动驱动电机给试样施加事先设定好的疲劳载荷，可以改变疲劳载荷频率，并自动地、动态地采集疲劳载荷，并将载荷以动态曲线方式显示在显示器上，便于实验者观察试样受力状况，并可在一定范围内对载荷进行微调。计算机自动寻找循环一周内的最大、最小载荷；自动计数循环周次，并把这些数据显示在显示器上。在图像方面，一个窗口显示显微镜下的实时成像，能够随时观察动态视频，也能够随时拍摄采集图像；另一个窗口作为比较窗口，可以调用以前存储图像。当需要时可以将图像保存到硬盘上。

本发明一种高精度显微疲劳试验机的积极效果是：

(1) 本发明可以设定疲劳载荷，加载频率，可动态实时采集图片，观察试样的细观组织变化，且整个试验机结构紧凑轻巧，操作简单，维护容易，高效节能；

(2) 一方面利用机器视觉代替传统的人工检测，极大的减轻了人工检测的压力，提高了产品的检测质量和检测速度；

(3) 采用伺服电机控制金属试样的拉伸与压缩，较原系统通过液压活塞的往复运动实现加载的模式相比，驱动电机结构小巧，无漏油污染现象，对维护和保养要求低，系统工作可靠，控制精度高，稳定性高，效率高，系统驱动电流和功耗小；

(4) 该系统采用普通 PC 机、数据采集卡、视频采集卡、摄像机以及基于 LabVIEW 虚拟仪器平台开发的应用程序软件，实现了载荷控制及图像、数

据采集；这套软件的完成实现了比以前更高程度的自动化，完成以前靠实验人员完成的工作。

【附图说明】

图1 本发明的总体框架；

图2 伺服电机控制系统的示意图。

图中各标号分别为：1、伺服电机，2、伺服电机驱动器，3、编码器，4、编码器反馈信号，5、控制器接口，6、端子，7、输入电源，8、220V电压，9、信号调理电路板，10、力传感器，11、多功能数据采集卡，12、PC机。

【具体实施方式】

以下提供本发明一种高精度显微疲劳试验机的具体实施方式。

请参见图1，一种高精度显微疲劳试验机，包括试验台架系统、伺服电机控制系统和机器视觉系统；伺服电机控制系统通过多功能数据采集卡11与伺服电机驱动器2相连，伺服电机驱动器2驱动伺服电机1，伺服电机1与减速机相连，减速机带动试验台架系统的丝杠，丝杠带动夹具拉伸试样，实现各种疲劳加载模式，试样表面出现微观变化，通过机器视觉系统的偏振光显微镜放大后，并经摄像机采集视频图像，通过图像采集卡在计算机上显示，然后由图像处理软件测量出微观裂纹的尺寸；

请参见图1，所述的试验台架系统，包括一套防震试验平台、加载台、X、Y和水平方向微调装置，试样夹头，滑块；加载台通过螺钉连接于防震台上，夹具位于加载台上，来保证加载时受力拉伸方向平行于试样表面，X、Y和水

平方向微调装置来调节加载台的位置；此部分的设计一方面是为了充分发挥显微镜应有的特性，达到满意的成像要求；另一方面的要点是保持对试样的水平轴向加载，避免产生弯矩；

请参见图 2，所述的伺服电机控制系统，包括伺服电机 1、伺服电机驱动器 2、编码器 3、力传感器 10、信号调理电路板 9、多功能数据采集卡 11 及 PC 机 12；伺服电机驱动器 2 通过端子 6 将电流输出给伺服电机 1，伺服电机 1 进行旋转，编码器 3 接在伺服电机 1 后面，通过编码器反馈信号 4 反馈给伺服电机驱动器 2；伺服电机驱动器 2 通过控制器接口 5 接收 PC 机 10 的多功能数据采集卡 11 的信号，进而控制伺服电机 1 运动；信号调理电路板 9 连接伺服电机驱动器 2 和多功能数据采集卡 11，同时还接收力传感器 10 的反馈信号给 PC 机 12；

其中，所述的伺服电机驱动器 2 的输入电源 7 为单相 220V 电压 8，控制电源也为单相 220V 电压；

所述的编码器 3 是伺服电机 1 自带的，实时检测电机的转数，通过编码器反馈信号 4 反馈给伺服电机驱动器 2；

所述的伺服电机 1 和伺服电机驱动器 2 之间的控制电路，包括电源接口和编码器接口，在伺服电机上配了 2500p/r 增量型编码器，用于伺服电机 1 内部位置反馈闭环，从而实现伺服电机驱动器 2 对伺服电机 1 的精确控制，编码器的 A 相、B 相、Z 相信号，均采用差分方式输出，使得伺服电机和伺服电机驱动器之间距离可以达到 20 米；与伺服电机匹配的驱动器型号为 MBDDT2210；

所述的伺服电机驱动器 2，其控制器接口与信号调理电路板通信，对伺服电机驱动器 2 选择三种控制方式为位置控制、速度控制和转矩控制；

所述的伺服电机 1 与伺服电机驱动器 2 的连接，伺服电机驱动器 2 通过端子 6U、V、W 和接地线与伺服电机 1 连接，给伺服电机 1 输入三相交流电流，此三相交流电流的频率、相位及幅值由驱动器内高速 DSP 芯片算出，以精确控制伺服电机 1 转速与转矩，它们是实时变化的，之间没有确定的幅值相位关系，不能通过互换接线来使伺服电机 1 反转；

所述的信号调理电路板 9，传感器的正端由 5V 供电，负端接地，根据所采用的传感器的输出灵敏度 $\geq 3\text{mV/V} \pm 1\%$ ，传感器输出的差分电压值大约为 $\pm 15\text{mV}$ ，由于传感器输出的电压信号太小，未能达到 A/D 转换芯片的满量程，影响 A/D 转换的精度和灵敏度，故需要设计信号调理电路将微小的电压信号放大，以达到多功能数据采集卡 11 的满量程输入电压；

所述的多功能数据采集卡 11，选自美国国家仪器公司的 M 系列多功能数据采集卡 PCI6221，有 16 路数字量输入输出，2 路模拟量输出，16 路模拟量输入和两个定时器计数器；

所述的力传感器 10，选自 Transcell Technology 公司的 S 型 Bss 系列称重传感器，其非线性误差高达 $\pm 0.03\%F.S$ ，满足载荷测试的精度要求；

所述的伺服电机 1，其输出状态可以经多功能数据采集卡 11，在程序的前面板显示，这样就可以直观地看到伺服电机 1 的实时状态；

伺服电机控制系统作为疲劳实验机的动力系统，主要完成 PC 机 12 对伺服电机 1 的运动控制、采集伺服电机驱动器 2 反馈信号、试样受力信号的采集及闭环控制算法，信号调理电路板 9 主要完成对力传感器 10 输出的差分模拟信号进行调理和转换，使之可以被多功能数据采集卡 11 接受，进行模数转换；

请参见图 1，所述的机器视觉系统，包括偏振光显微镜、卤素灯光源、摄

像机、图像采集卡、PC机12，人机界面监测显示以及图像处理软件；其中，卤素灯光源装在装夹的试样上方，为偏振光显微镜提供光源，而模拟摄像机装在偏振光显微镜目镜处拍摄金相表面图像，然后将拍摄的模拟视频信号通过屏蔽线连接到安装于PC机上的，Angelo24视频采集卡的模拟视频信号输入端，完成AD转换为数字信号，通过labview软件获得图像，然后通过labview的vision模块进行图像各种处理；

机器视觉系统主要实现试样疲劳裂纹区域的图像放大、采集、程序中视频显示、图像抓取和图像处理等；显微镜对试样的放大倍数、总放大倍数及试样表面尺寸观察范围如表1所示，放大后的试样经模拟摄像机的拍摄形成连续的视频流，经图像采集卡A/D转换成数字图像，再经计算机软件的图像采集在计算机程序中显示视频图像；抓取有用的图像，通过图像处理软件包对裂纹长度精确测量，并与试样受力循环次数、最大力值、最小力值、受力频率及拍摄时间等存入图像中，为以后的研究做准备。

表1 显微疲劳试验系统的放大倍数和所能观察试样表面尺寸范围一览表

显微镜物镜放大倍数	总放大倍数	所观察试样表面尺寸范围
5	234	870×652μm
10	468	435×326μm
20	936	218×163μm
50	2300	87×65μm

以上所述仅是本发明的优选实施方式，应当指出，对于本技术领域的普通技术人员，在不脱离本发明构思的前提下，还可以做出若干改进和润饰，这些改进和润饰也应视为本发明的保护范围内。

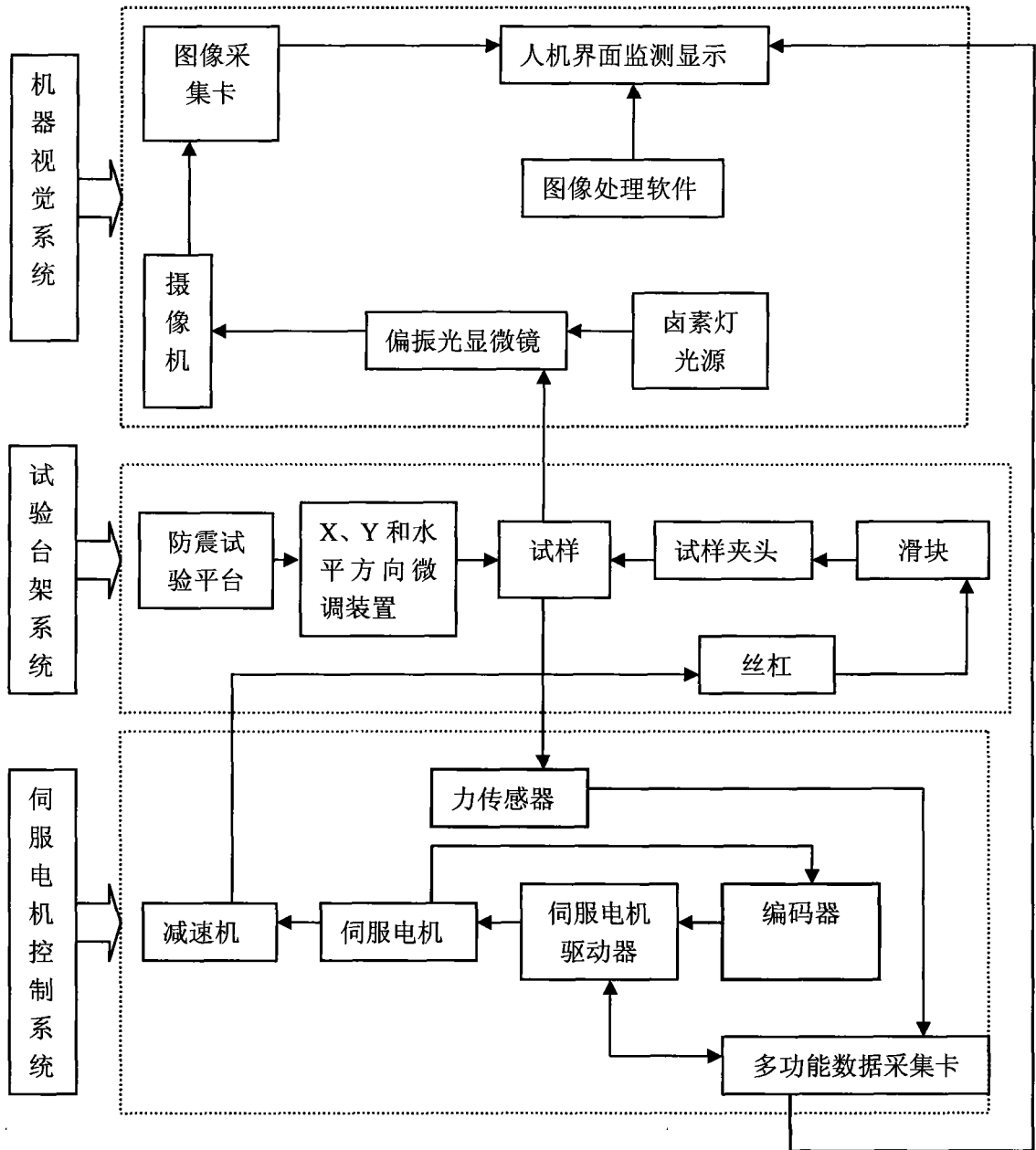


图 1

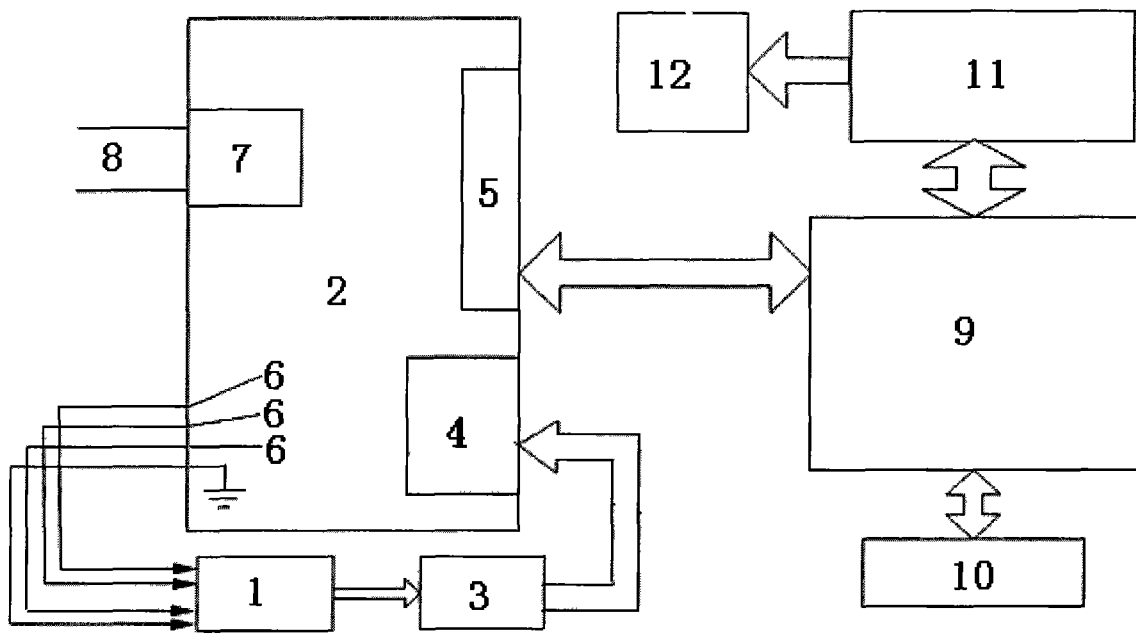


图 2