



## (12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 111982936 A

(43) 申请公布日 2020. 11. 24

(21) 申请号 202010863233.X

(22) 申请日 2020.08.25

(71) 申请人 绍兴市特种设备检测院

地址 312000 浙江省绍兴市越城区斗门街  
道世纪东街17号

(72) 发明人 余焕伟 赵星波 任洪勇 陈仙凤  
欧阳星峰

(74) 专利代理机构 绍兴普华联合专利代理事务  
所(普通合伙) 33274

代理人 丁建清

(51) Int. Cl.

G01N 23/04 (2018.01)

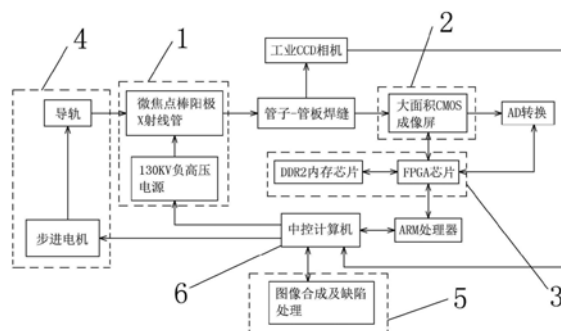
权利要求书2页 说明书5页 附图6页

### (54) 发明名称

一种热交换器管子-管板焊缝的X射线自动  
检测装置

### (57) 摘要

一种热交换器管子-管板焊缝的X射线自动  
检测装置,属于焊缝质量射线检测技术领域。本  
发明包括X射线发射模块、X射线数字成像屏模  
块、图像采集及远程传输模块、三维位移模块、图  
像合成及缺陷处理模块、以及中控计算机,所述  
中控计算机分别与X射线发射模块、图像采集及  
远程传输模块、图像合成及缺陷处理模块、三维  
位移模块相连,所述图像采集及远程传输模块与  
X射线数字成像屏模块相连。本发明可以实现X射  
线图像的数字化采集和储存,实现对TTS焊缝缺  
陷的自动识别和智能评级,可以自主定位和自动  
导引,具有自动化程度高、检测速度快、精度高等  
优点。



1. 一种热交换器管子-管板焊缝的X射线自动检测装置,其特征在于,包括X射线发射模块、X射线数字成像屏模块、图像采集及远程传输模块、三维位移模块、图像合成及缺陷处理模块、以及中控计算机,所述中控计算机分别与X射线发射模块、图像采集及远程传输模块、图像合成及缺陷处理模块、三维位移模块相连,所述图像采集及远程传输模块与X射线数字成像屏模块相连;

所述X射线发射模块采用微焦点棒阳极X射线管作为发射源,发射X射线对管子-管板焊缝进行透照;

所述X射线数字成像屏模块围绕X射线管的棒阳极布置,将探测到的X射线进行图像采集;

所述图像采集及远程传输模块将采集到的图像传输到中控计算机;

所述中控计算机通过三维位移模块控制X射线发射模块和X射线数字成像屏模块的运动和定位;

所述中控计算机驱动图像合成及缺陷处理模块将采集到的图像合成,并修正三维移位模块的规划位置。

2. 根据权利要求1所述一种热交换器管子-管板焊缝的X射线自动检测装置,其特征在于,所述X射线数字成像屏模块通过四块CMOS传感器相拼接形成X射线的成像屏,四块CMOS传感器围绕X射线管的棒阳极以“回”字形布置。

3. 根据权利要求2所述一种热交换器管子-管板焊缝的X射线自动检测装置,其特征在于,四个所述CMOS传感器的图像采集均采用独立的冗余设计。

4. 根据权利要求2所述一种热交换器管子-管板焊缝的X射线自动检测装置,其特征在于,四个所述CMOS传感器采用同步设置。

5. 根据权利要求1所述一种热交换器管子-管板焊缝的X射线自动检测装置,其特征在于,所述图像采集及远程传输模块包括FPGA芯片和DDR2内存芯片,所述FPGA芯片和DDR2内存芯片均与X射线数字成像屏模块相匹配,所述FPGA芯片将X射线数字成像屏模块采集到的图像数据实时送至DDR2内存芯片缓存,所述FPGA芯片将缓存在DDR2内存芯片中的图像数据取出发送至中控计算机,所述FPGA芯片与中控计算机进行控制命令和数据的交换。

6. 根据权利要求1所述一种热交换器管子-管板焊缝的X射线自动检测装置,其特征在于,所述中控计算机连接有ARM处理器,所述ARM处理器集成以太网芯片,所述ARM处理器将图像采集及远程传输模块发送来的图像数据经以太网传输至中控计算机,同时接收中控计算机的命令,并将命令翻译后同步下达给图像采集及远程传输模块,图像采集及远程传输模块将参数写入X射线数字成像屏模块。

7. 根据权利要求1所述一种热交换器管子-管板焊缝的X射线自动检测装置,其特征在于,所述图像合成及缺陷处理模块在同一位置采用采集多帧图像以提高图像的信噪比,然后旋转45°再次成像,最后将两次成像的图片进行合成。

8. 根据权利要求1所述一种热交换器管子-管板焊缝的X射线自动检测装置,其特征在于,所述三维位移模块基于视觉跟踪定位技术,采用步进电机和导轨相配合来实现X射线发射模块和X射线数字成像屏模块的运动和定位。

9. 根据权利要求8所述一种热交换器管子-管板焊缝的X射线自动检测装置,其特征在于,所述中控计算机连接有工业CCD相机,所述工业CCD相机实时拍摄管子的管孔图像,然后

利用基于反向合成图像对齐算法的AAM匹配算法对管孔的圆心进行标定,获取坐标数据,并根据坐标数据对三维移位模块的规划位置进行修正。

## 一种热交换器管子-管板焊缝的X射线自动检测装置

### 技术领域

[0001] 本发明属于焊缝质量射线检测技术领域,具体是涉及一种热交换器管子-管板焊缝的X射线自动检测装置。

### 背景技术

[0002] 列管式的热交换器(冷凝器)是一种广泛应用电力、石油、化工、核能等领域的热量交换设备,其管子-管板(Tube to Tube Sheet, TTS)焊缝的质量是保证整台设备长期健康运行的关键。常规的焊接方法是将管子插入管板孔内,在管板的外侧将管子与管板用焊接连在一起,习惯称它为管与管板的端面焊。换热器列管的直径一般都较小(10-40mm),排列极紧凑,一般采用多层手工氩弧焊或TIG焊(手工或全自动)的焊接方式,焊接工艺复杂、难度较大,很容易发生根部未融合、夹渣、气孔、裂纹等缺陷。这些缺陷在长时间的高温、高压、腐蚀等环境下很容易使TTS焊缝失效,引起换热器泄漏事故,造成设备停产,而且设备常常无法修理或修理代价很大,对于一些化工设备还可能引起爆炸、窒息、中毒、火灾等重大事故,有时还会引发严重的、难以清除的环境污染事故。

[0003] 虽然TTS焊缝质量对换热器的安全运行有重要影响,但由于其几何结构的特殊性,大量的环形管子-管板焊缝密集排列、焊缝区域小、结构复杂,如图1所示,很难对其内部缺陷进行X射线探伤检测,而且换热器列管数目通常较多,甚至可达千根以上,如果采用人工手动逐一检测的方法,需要胶片打孔、胶片装夹、设备插孔固定、拍片、设备卸载等,检测步骤繁琐、工作量大,而且后续的底片冲洗及评定也容易受环境、设备及人的生理条件限制,难以满足制造企业对焊缝检测的高质量、高效率 and 低成本的要求。综合国内外的研究工作来看,对TTS焊缝的射线检测装置的研究和开发已取得了一些成果,比如棒阳极X射线管+胶片、棒阳极X射线管+DIC100TH面阵探测器、Ir192射线源+胶片、Ir192+线阵探测器等,但都存在检测装置的自动化程度较低、无法适应规模化应用的问题。为了满足对高质量列管式换热器生产制造对自动化无损检测技术的需求,迫切需要提高管子-管板焊缝X射线检测中的数字化和自动化水平,以提高检测效率、降低检测成本。

### 发明内容

[0004] 本发明主要是解决上述现有技术所存在的技术问题,提供一种热交换器管子-管板焊缝的X射线自动检测装置。

[0005] 本发明的上述技术问题主要是通过下述技术方案得以解决的:一种热交换器管子-管板焊缝的X射线自动检测装置,包括X射线发射模块、X射线数字成像屏模块、图像采集及远程传输模块、三维位移模块、图像合成及缺陷处理模块、以及中控计算机,所述中控计算机分别与X射线发射模块、图像采集及远程传输模块、图像合成及缺陷处理模块、三维位移模块相连,所述图像采集及远程传输模块与X射线数字成像屏模块相连;

[0006] 所述X射线发射模块采用微焦点棒阳极X射线管作为发射源,发射X射线对管子-管板焊缝进行透照;

[0007] 所述X射线数字成像屏模块围绕X射线管的棒阳极布置,将探测到的X射线进行图像采集;

[0008] 所述图像采集及远程传输模块将采集到的图像传输到中控计算机;

[0009] 所述中控计算机通过三维位移模块控制X射线发射模块和X射线数字成像屏模块的运动和定位;

[0010] 所述中控计算机驱动图像合成及缺陷处理模块将采集到的图像合成,并修正三维移位模块的规划位置。

[0011] 作为优选,所述X射线数字成像屏模块通过四块CMOS传感器相拼接形成X射线的成像屏,四块CMOS传感器围绕X射线管的棒阳极以“回”字形布置。

[0012] 作为优选,四个所述CMOS传感器的图像采集均采用独立的冗余设计。

[0013] 作为优选,四个所述CMOS传感器采用同步设置。

[0014] 作为优选,所述图像采集及远程传输模块包括FPGA芯片和DDR2内存芯片,所述FPGA芯片和DDR2内存芯片均与X射线数字成像屏模块相匹配,所述FPGA芯片将X射线数字成像屏模块采集到的图像数据实时送至DDR2内存芯片缓存,所述FPGA芯片将缓存在DDR2内存芯片中的图像数据取出发送至中控计算机,所述FPGA芯片与中控计算机进行控制命令和数据的交换。

[0015] 作为优选,所述中控计算机连接有ARM处理器,所述ARM处理器集成以太网芯片,所述ARM处理器将图像采集及远程传输模块发送来的图像数据经以太网传输至中控计算机,同时接收中控计算机的命令,并将命令翻译后同步下达给图像采集及远程传输模块,图像采集及远程传输模块将参数写入X射线数字成像屏模块。

[0016] 作为优选,所述图像合成及缺陷处理模块在同一位置采用采集多帧图像以提高图像的信噪比,然后旋转45°再次成像,最后将两次成像的图片进行合成。

[0017] 作为优选,所述三维位移模块基于视觉跟踪定位技术,采用步进电机和导轨相配合来实现X射线发射模块和X射线数字成像屏模块的运动和定位。

[0018] 作为优选,所述中控计算机连接有工业CCD相机,所述工业CCD相机实时拍摄管子的管孔图像,然后利用基于反向合成图像对齐算法的AAM匹配算法对管孔的圆心进行标定,获取坐标数据,并根据坐标数据对三维移位模块的规划位置进行修正。

[0019] 本发明具有的有益效果:本发明可以实现X射线图像的数字化采集和储存,实现对TTS焊缝缺陷的自动识别和智能评级,可以自主定位和自动导引,具有自动化程度高、检测速度快、精度高等优点。

## 附图说明

[0020] 图1是现有技术中密集排列的管子-管板焊缝的一种结构示意图;

[0021] 图2是本发明的一种结构示意图;

[0022] 图3是本发明的一种技术路线示意图;

[0023] 图4是本发明CMOS传感器与棒阳极的一种连接结构示意图;

[0024] 图5是本发明CMOS传感器帧模式信号时钟图;

[0025] 图6是本发明CMOS传感器的一种电路原理图;

[0026] 图7是本发明三维位移模块的一种结构示意图;

[0027] 图8是本发明手工标记的训练图;

[0028] 图9是本发明圆心检测结果图。

[0029] 图中:1、X射线发射模块;2、X射线数字成像屏模块;3、图像采集及远程传输模块;4、三维位移模块;5、图像合成及缺陷处理模块;6、中控计算机;7、X射线管;8、棒阳极;9、CMOS传感器;10、步进电机;11、导轨;12、管子;13、管板;14、焊缝。

## 具体实施方式

[0030] 下面通过实施例,并结合附图,对本发明的技术方案作进一步具体的说明。

[0031] 实施例:一种热交换器管子-管板焊缝的X射线自动检测装置,如图2-图7所示,包括X射线发射模块、X射线数字成像屏模块、图像采集及远程传输模块、三维位移模块、图像合成及缺陷处理模块、以及中控计算机,所述中控计算机分别与X射线发射模块、图像采集及远程传输模块、图像合成及缺陷处理模块、三维位移模块相连,所述图像采集及远程传输模块与X射线数字成像屏模块相连。

[0032] 所述X射线发射模块采用微焦点棒阳极X射线管作为X射线的发射源,发射X射线对管子-管板焊缝进行透照,采用130KV负高压电源作为X射线管的电源。由于管子-管板焊缝的空间位置限制,传统的X射线装置很难对其管子-管板焊缝进行透照,本发明采用的棒阳极X射线管可以通过一个长棒状的真空管把高压电子束引出,在棒状真空管的末端设置X射线发射靶,其X射线束以圆锥角度后向发射。X射线管的最大工作电压为130KV,小焦点尺寸为0.6mm,可向后轴向168°范围内辐射X射线。

[0033] 130KV负高压电源采用TXR1020型,具有恒流、恒压、恒功率、过压、过流、拉弧和输出短路保护等功能,可实现远程控制、检测电压电流、开关机等。130KV负高压电源配备有远程通讯和光电隔离卡,并通过远程通讯和光电隔离卡与中控计算机相连,在中控计算机的协调控制下实现高压电源与X射线数字成像屏模块的同步,具体参数可以预先设定或者通过X射线数字成像屏模块快速连续曝光来自适应控制。

[0034] 所述X射线数字成像屏模块围绕X射线管的棒阳极布置,将探测到的X射线进行图像采集。如图4所示,所述X射线数字成像屏模块采用四块大面积的CMOS传感器,四块CMOS传感器相互拼接形成X射线的成像屏,四块CMOS传感器围绕X射线管的棒阳极以“回”字形布置。CMOS传感器采用Dalsa公司的Radeye系列,CMOS传感器底层为光电探测单元,表面层为闪烁体探测器,利用闪烁材料将X射线光子转化为可见光光子,实现比较完美的X射线图像探测,可实现外径在30-68mm范围内的管子-管板焊缝的X射线数字成像,但CMOS传感器拼接缝会在图像上留有1mm左右的成像盲区,通过后续的图像合成与处理步骤进行消除。

[0035] 四块CMOS传感器的图像采集采用独立的冗余设计,所述图像采集及远程传输模块将采集到的图像传输到中控计算机,所述图像采集及远程传输模块包括FPGA芯片和DDR2内存芯片,每一块CMOS传感器都配备有一块FPGA芯片和一块DDR2内存芯片,各FPGA芯片之间独立设计。

[0036] 所述中控计算机连接有ARM处理器,所述ARM处理器集成以太网芯片,所述ARM处理器通过以太网芯片和以太网相配合与中控计算机相连。所述FPGA芯片将CMOS传感器采集到的图像数据实时送至DDR2内存芯片缓存,之后FPGA芯片将缓存在DDR2内存芯片中的图像数据取出发送至ARM处理器,ARM处理器作为整个系统的微控制单元,四块FPGA芯片分别与ARM

处理器进行控制命令和数据的交换,最终通过以太网传输至中控计算机保存并显示。

[0037] 各CMOS传感器的供电电路、AD转换、FPGA芯片、数据缓存都是分别独立设计的,但共用一个时钟晶振芯片和ARM处理器,这样从硬件上保证了四块CMOS传感器的同步,而且对于实际应用中的些许时序偏差还可以通过对各自FPGA芯片中的时钟延时来微调。

[0038] CMOS传感器的X射线图像采集采用帧模式,如图5所示,Clock为系统时钟,Start为输入控制信号,OutR和OutS分别为差分模拟输出信号,Frame和Line分别为帧同步和行同步信号。Clock是整个系统的基准时钟,分别为CMOS传感器和后续的AD采用提供校准同步。当信号宽度大于基准时钟周期的Start脉冲信号输入时,CMOS传感器开始工作,在拍完一帧图像后停止工作,等待下一个Start脉冲信号。通过控制Start信号的周期和脉冲持续时间可以很好的控制每一帧的曝光时间和图像采集速度。

[0039] CMOS传感器的信号为一对模拟差分电压,分别输入给模拟差分放大部分进行差分电压的放大,并将放大后的电压输入给AD转换器,进行14-bit的模数转换,其电路原理图如图6所示。

[0040] ARM处理器负责将FPGA芯片发送来的图像数据经以太网传输至中控计算机,同时负责接收中控计算机的命令(主要是初始参数信息),并把命令翻译后同步下达给四个FPGA芯片,再由FPGA芯片把参数写入各CMOS传感器。基准时钟5MHz产生2MHz、25MHz、50MHz的时钟信号,进行时序同步,控制各芯片协同工作。

[0041] 所述中控计算机驱动图像合成及缺陷处理模块对采集到的图像进行处理。所述图像合成及缺陷处理模块在同一位置采用采集多帧图像以提高图像的信噪比,然后整个成像装置旋转45°再次成像,两次成像的图片进行合成以消除相邻两个CMOS传感器之间的接缝。

[0042] 所述中控计算机通过三维位移模块控制X射线发射模块和X射线数字成像屏模块的运动和定位。如图7所示,所述三维位移模块采用步进电机和导轨相配合来实现移位。所述三维位移模块采用视觉跟踪定位技术,检测计算管子-管板焊缝的位置,实现对管子-管板焊缝的自主定位和自动导引,具体为:首先根据列管的排列方式和间距对三维位移模块进行路径规划,引导X射线发射模块和X射线数字成像屏模块接近被检焊缝,再通过与中控计算机连接的工业CCD相机实时拍摄管子的管孔图像,利用图像处理技术得到管孔的中心位置坐标数据,并对三维位移模块的规划位置进行修正,可以使机器视觉的范围主要集中在相机轴线附近,避免了大视场范围内相机镜头畸变的影响。管孔的中心位置坐标数据的图像处理技术,是采用基于反向合成图像对齐算法的AAM(Active Appearance Model)匹配算法。利用基于反向合成图像对齐算法的AAM匹配算法对管孔的圆心进行标定,获取坐标数据。反向合成图像对齐算法(Inverse Compositional Image Alignment)交换了正向合成算法中模板与测试图片的角色,根据模板来计算而不是根据变形增量计算。

[0043] 如图8-图9所示,对训练图进行手工标记特征点,通过肉眼目测对工件上的7个环形焊缝的圆心进行标记,同时对工件的四角进行标记,这些标记为不可随意变换位置的特征点,该特征点可采用红色。在这些标记点之间可随意标记一些沿图像特征分布,帮助识别变形图像的特征点,该特征点可采用蓝色,这些蓝色的特征点在后续计算中会根据算法对图像的识别重新分布。标记完成后,按照标记顺序形成标记路径,所有训练图片的标记顺序必须相同,且红色特征点的位置和个数不能改变。

[0044] 每张图片的所有特征点坐标信息存储在矩阵P中,和图片一起传输给AAM算法实现

训练。算法将每张训练图片的红色特征点都分成了相对独立的三个部分,中心管孔的圆心、周围六个管孔的圆心、工件的四角分别与其间蓝色特征点形成三个封闭图形,即中心管孔的圆心与上方管孔的圆心之间不再冲洗插值生成蓝色特征点,上方管孔的圆心与工件左上角的特征点同理,三部分能够相对独立地进行扭曲变形,更好地根据图形特征进行拟合。

[0045] 在模板与工件图像的匹配过程中,随着迭代,模板特征点与图像的对应特征重合度越来越高,最终7个环形焊缝圆心检测结果如图9所示。

[0046] 综上所述,本发明可以实现X射线图像的数字化采集和储存,实现对TTS焊缝缺陷的自动识别和智能评级,可以自主定位和自动导引,具有自动化程度高、检测速度快、精度高等优点。

[0047] 最后,应当指出,以上实施例仅是本发明较有代表性的例子。显然,本发明不限于上述实施例,还可以有许多变形。凡是依据本发明的技术实质对以上实施例所作的任何简单修改、等同变化与修饰,均应认为属于本发明的保护范围。



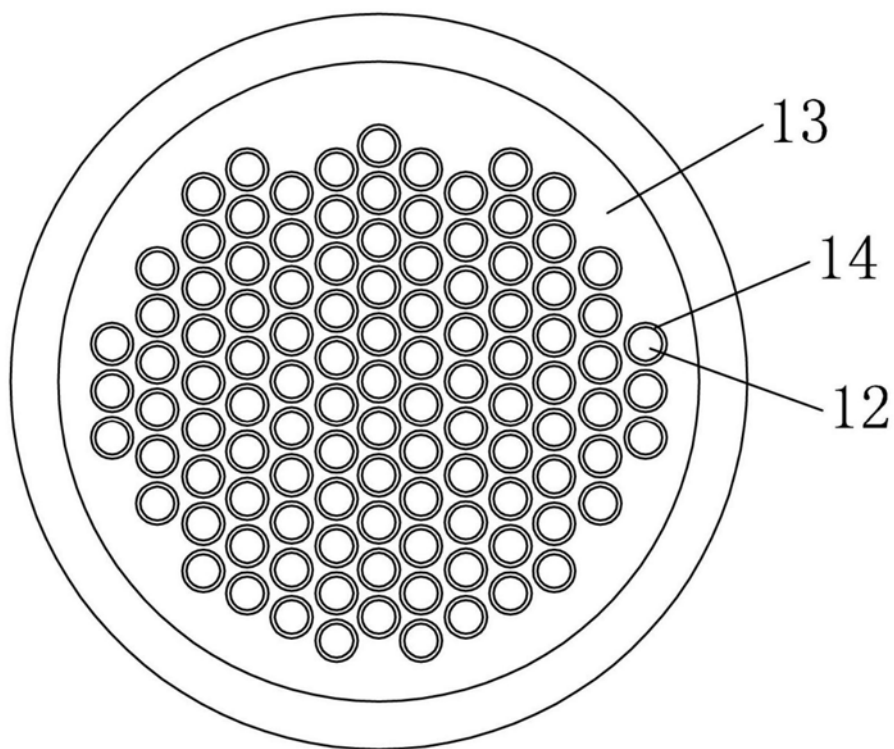


图1

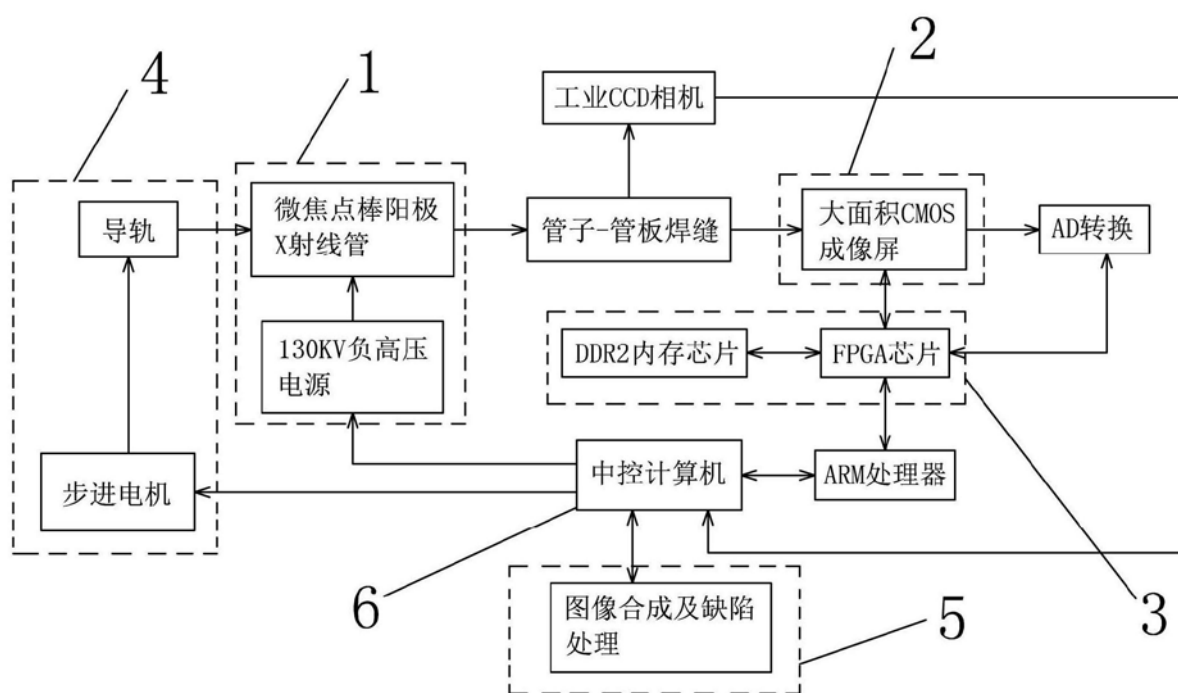


图2

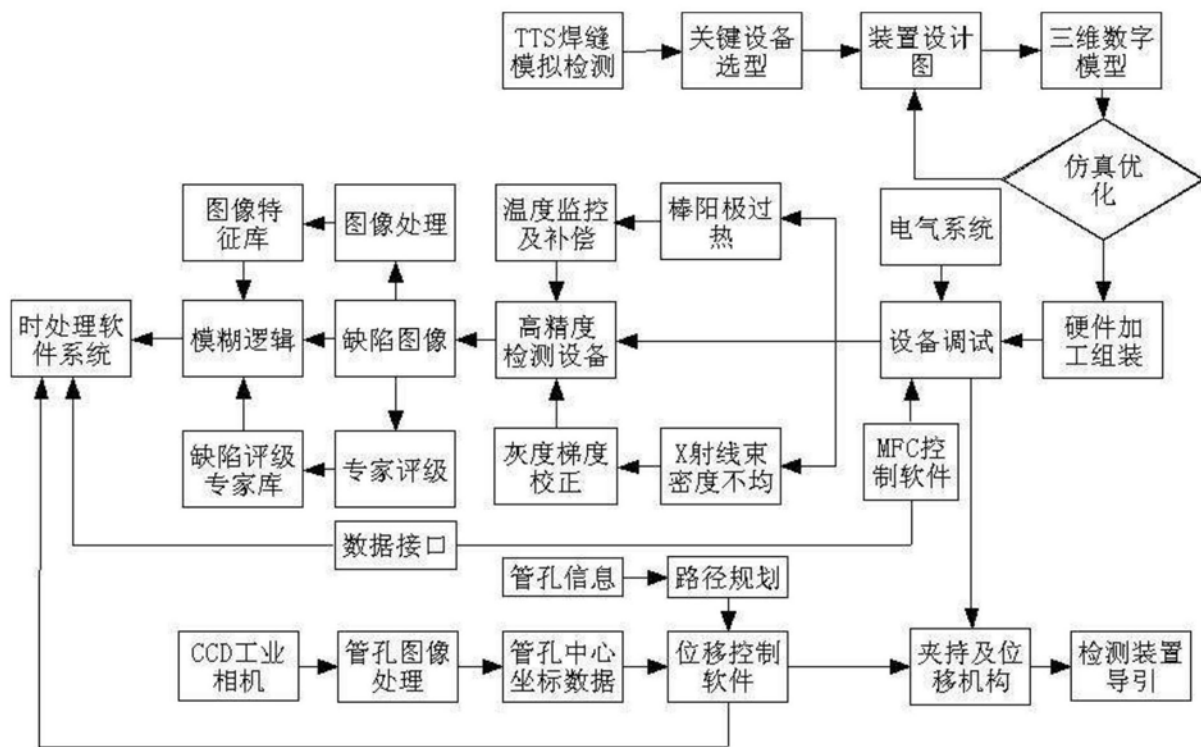


图3

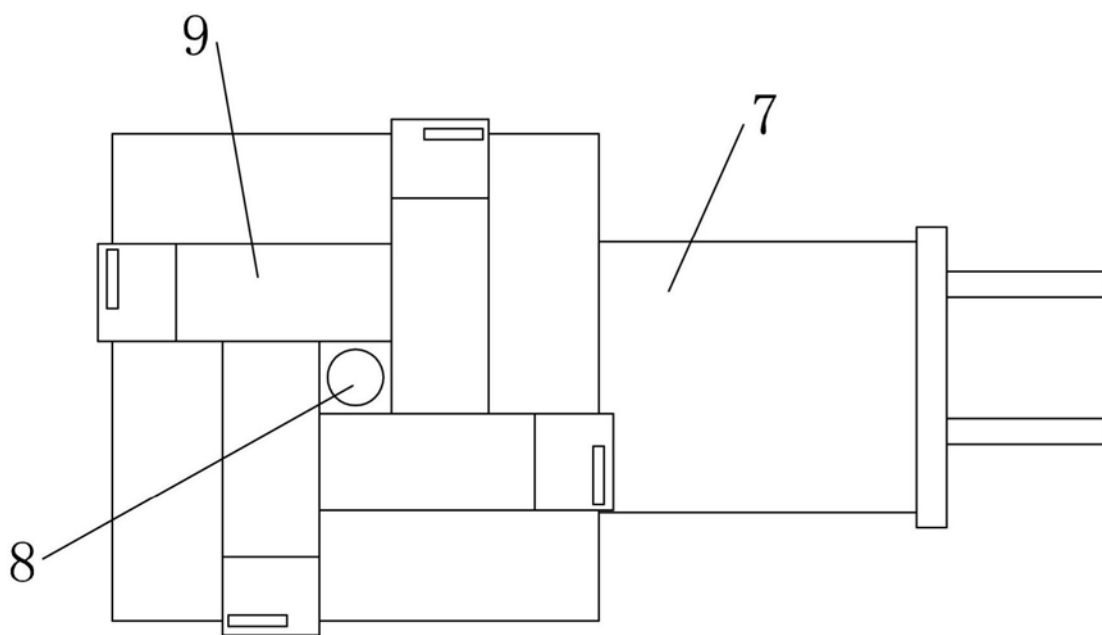


图4

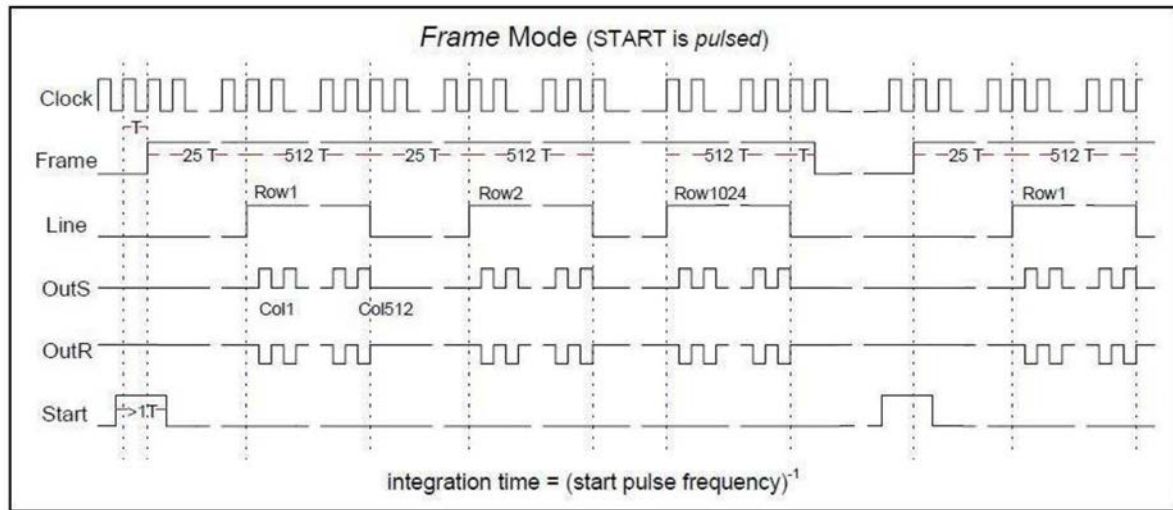


图5

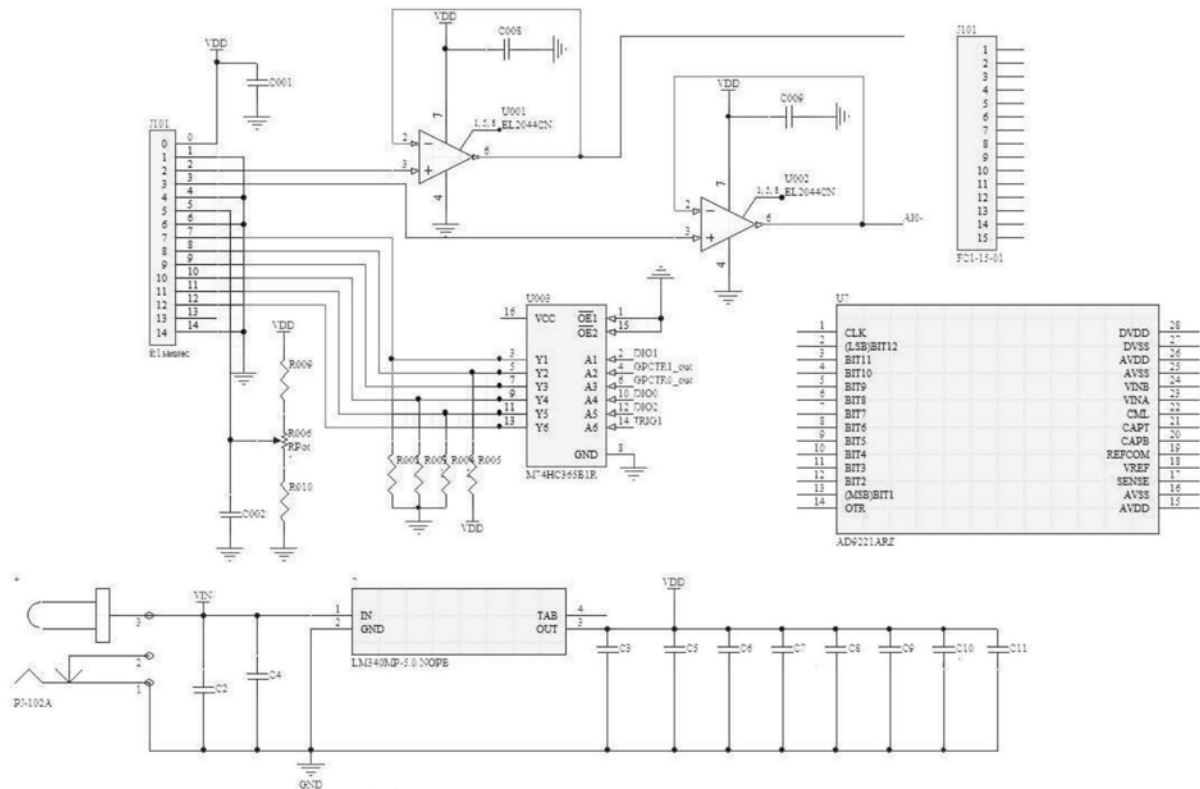


图6

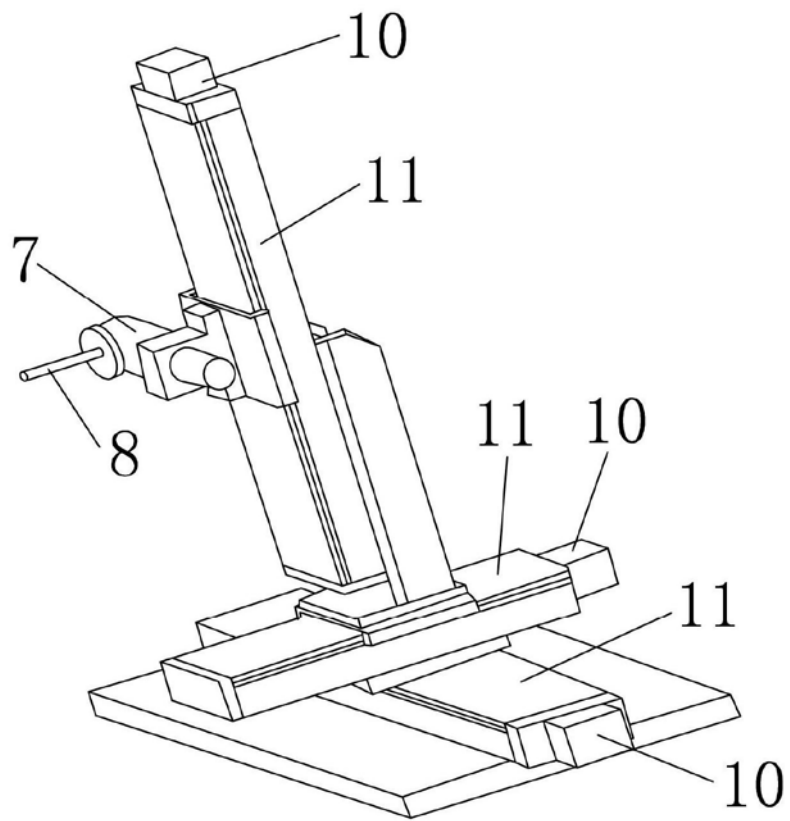


图7

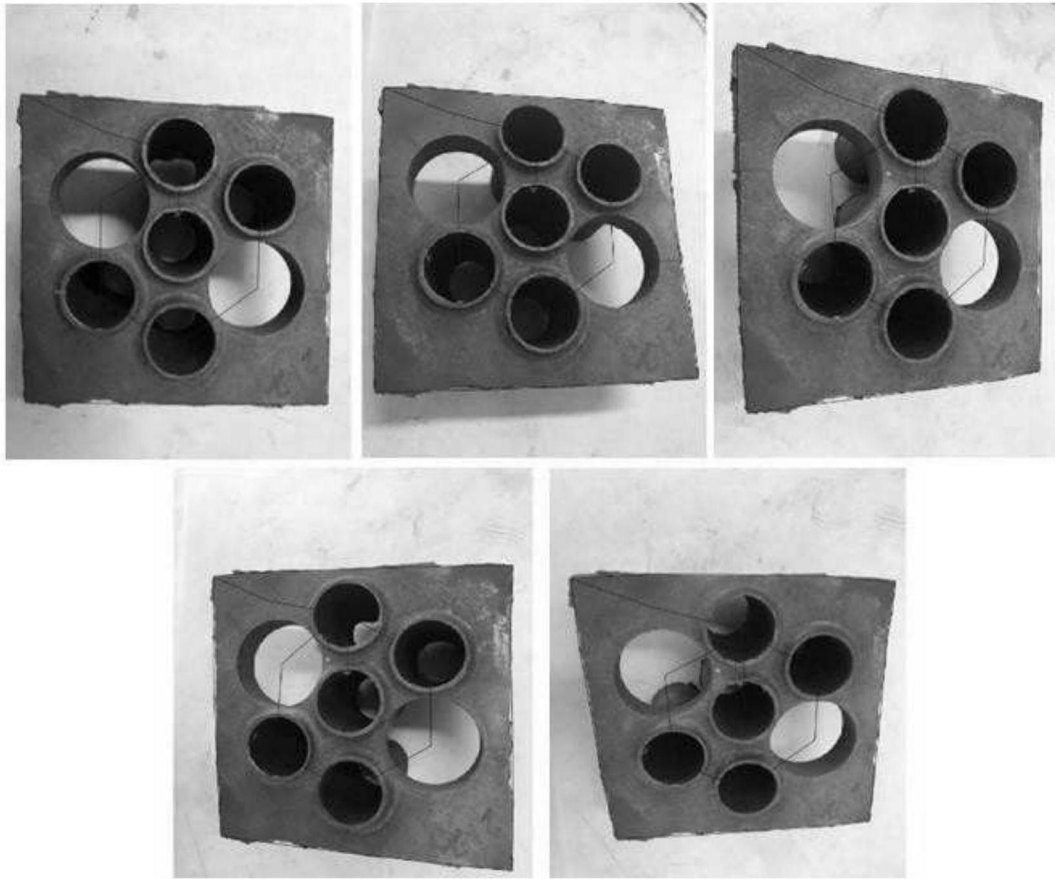


图8

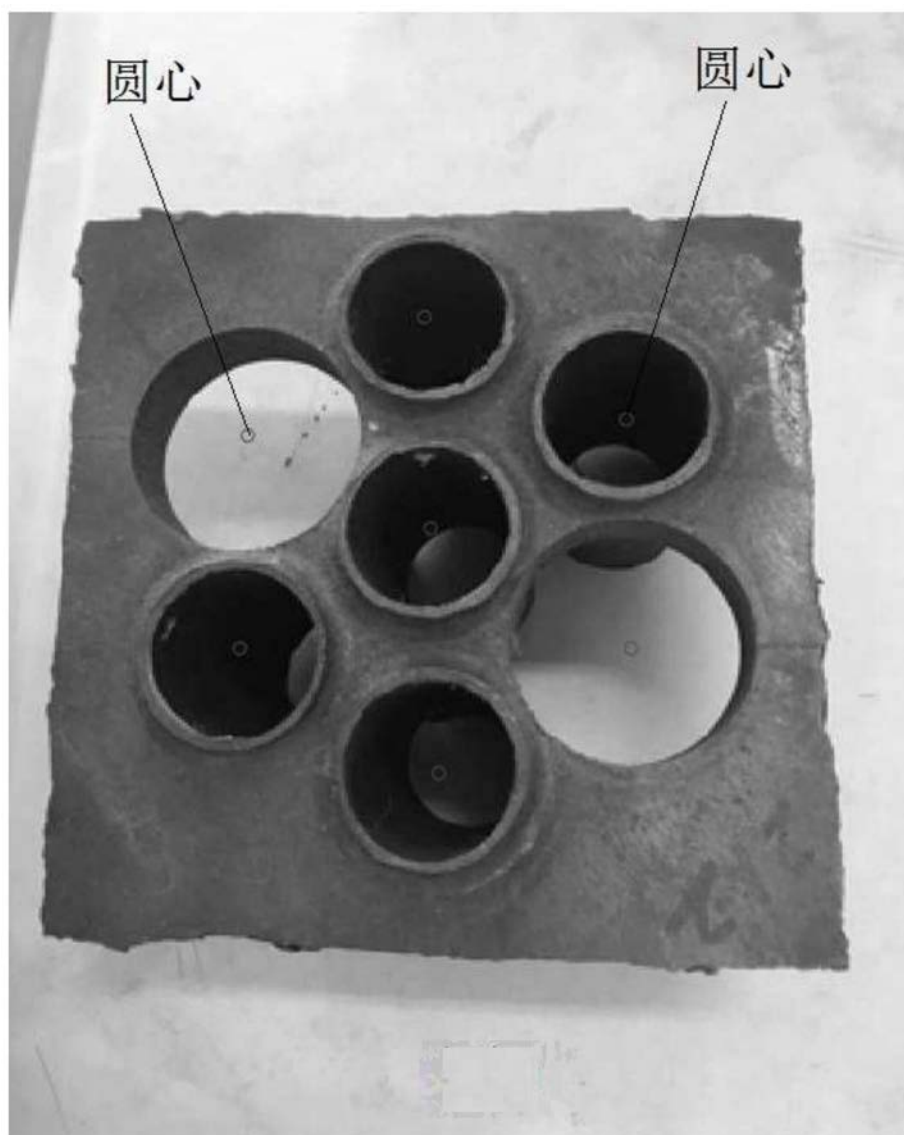


图9