

DOI: 10.11973/wsjc201701016

# 水下射线检测装置控制系统设计

陶泽勇,赵晓敏,田野

(国核电站运行服务技术有限公司,上海 200233)

**摘要:**为了提高反应堆压力容器(RPV)接管焊缝射线检测装置的自动化程度,设计并制作了水下射线检查装置的控制系统。RPV 接管焊缝射线自动检测装置以 AT89S52 单片机为基础,完成气囊的充放气、气缸的横向进给和气囊压力控制;应用霍尔传感器完成焊缝的定位,采用 CCD 摄像头实时显示运动机构和系统的定位状况。对接管焊缝进行水下射线试验,结果表明,该系统运行平稳,定位精度满足要求。

**关键词:**射线检测;AT89S52 单片机;控制系统;RPV 安全端焊缝

中图分类号: TG115.28

文献标志码: A

文章编号:1000-6656(2017)01-0066-03

## Design of Control Device for Underwater $\gamma$ -Ray Inspection

TAO Ze-yong, ZHAO Xiao-min, TIAN Ye

(State Nuclear Power Plant Service Company, Shanghai 200233, China)

**Abstract:** In order to improve automation of RPV nozzle safe end weld  $\gamma$ -Ray inspection device, a control system was designed and manufactured. The RPV nozzle safe end weld automatic  $\gamma$ -Ray inspection device was based on MCU to implement inflating and deflating of the air bag, air cylinder feed control and the pressure control of the air bag. Hall sensors were used to position weld and CCD camera to display real time movement of the system. Test results show that the automatic control system of under water  $\gamma$ -Ray inspection is stable and position accuracy meets the requirements.

**Key words:**  $\gamma$ -Ray inspection; AT89S52 single chip; Control system; RPV safe end weld

反应堆压力容器(RPV)接管安全端焊缝,及接管与主管道连接的奥氏体不锈钢焊缝,是核电站核承压边界的重要组成部分,也是核电站反应堆压力容器制造过程核管道现场安装过程中实施难度最大、产生问题最多的焊缝,且一旦核电站投入运行,其将长期工作于高温、高压、高辐射环境下,易于形成疲劳损伤。因此,依据核电站建造、安装和运行相关标准,包括 ASME(美国机械工程师协会)规范和 RSEM(压水堆核电厂在役检查规则)标准,对上述焊缝进行定期质量检查是核电站役前检查和在役检查的重要内容,其质量对于保障一回路系统的完整性至关重要<sup>[1-2]</sup>。

收稿日期:2016-04-12

作者简介:陶泽勇(1983—),男,硕士,工程师,主要从事核电特种机器人研发工作。

通信作者:陶泽勇, E-mail: friendsmiles@126.com。

对于管道中心曝光照相,除了要求射线源位于管道周向中心位置,同时还要求射线源位于焊缝周向平面上<sup>[3]</sup>。为了提高检测灵敏度,要求预堆边照相的射线源位置在预堆边斜线延长线与管道轴线相交位置上。因此所设计的射线检查装置能实现自动中心定位和轴向移动自动定位功能。

针对压力容器接管安全端焊缝射线检测装置,研究设计了一套基于 AT89S52 的电气控制系统,可以实现水下射线的自动化操作,且该系统具有良好的扩展性和稳定性。

## 1 射线检测装置控制系统总体设计

### 1.1 RPV 接管安全端射线检测装置组成

水下射线检测装置主要由放射源中心定位机构、轴向定位机构、排水气囊、放射源输送机构、浮力装置及长柄操作工具、CCD 摄像头、电气控制系统(包括操

作平台、气源和气动控制等)、上下位机控制系统等组成。水下射线检测装置系统组成如图 1 所示。

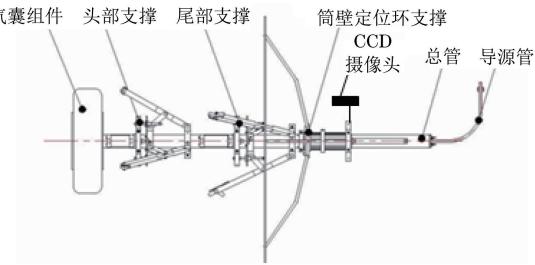


图 1 水下射线装置系统组成示意

## 1.2 RPV 接管安全端射线检测装置控制系统结构

人机界面即上位计算机控制界面,主要完成上下位机通信、指令的生成和发送,以及传感器信号反馈等功能。压力传感器主要用于检测气囊内部压力,它可显示气囊压力,并将压力信号转变为电信号输送给 AT89S52 单片机<sup>[4]</sup>。霍尔传感器共有两个,一个用于压力容器筒体和安全端的定位,另一个用于安全端和接管焊缝的定位。操作面板相当于手动控制面板,位于电路控制箱正面,具有完成射线装置定位的功能按钮和相应的指示灯,压力表实时显示气囊内部压力。射线装置的拍片过程是在 RPV 模拟体水池中进行的,系统的定位由气囊的充气和放气、头部支撑的收缩和伸长、尾部支撑的收缩和伸长、定位环支撑的前进和后退等一系列动作完成,主要执行部件是气缸。RPV 接管安全端射线检测装置控制系统结构如图 2 所示。

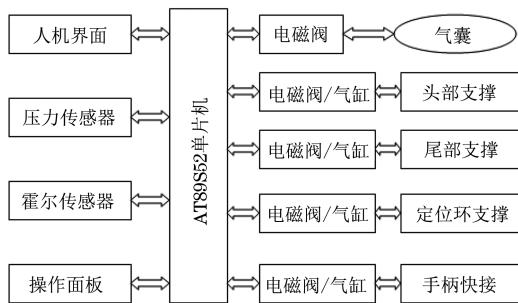


图 2 射线检测装置控制系统结构示意

## 2 控制系统硬件设计

### 2.1 单片机电路设计

单片机电路主要由电磁阀控制电路、传感器信号电路、串口通信电路、电源模块及扩展接口模块电路组成。射线装置的中心定位结构为两组伞状支撑组件,每组支撑组件有两个气缸,即中心定位组件中有 4 个气缸,轴向定位组件由定位圆盘和滑套组成,

也有两个气缸。

射线装置的头部、尾部和定位环处各有两个气缸,气缸的行程是通过电磁阀的通断来控制的。电磁阀为 SMC 三位五通双电控电磁阀,由于单片机输出的高电平为 +5 V,电磁阀工作电压为 +24 V,这就需用继电器来驱动电磁阀。气囊压力传感器采用的是 SMC ISE30A 多功能压力传感器,NPN 型单端输出,工作电压为 24 V。当压力传感器检测到气囊压力达到预期设定值时,S1O1 输出 +24 V,继电器接通,单片机 P1.4 脚将接收到低电平。

AT89S52 单片机有一个全双工的串行通信 UART,由于 AT89S52 的 TTL 电平与 RS232 标准规定的逻辑电平不兼容,二者之间若要进行连接必须进行电平转换。设计时采用 SP232 作为电平转换芯片。

### 2.2 轴向定位设计

射线检测装置要对对接管与安全端焊缝、预堆边、安全端与主管道焊缝三个位置处进行射线照相,需要装置对三个位置进行准确定位。其中安全端与主管道焊缝和预堆边采用两个霍尔位置传感器定位,接管与安全端焊缝采用机械限位。当轴向移动结构推动装置运动到安全端与主管道焊缝时,位置传感器 S<sub>1</sub> 输出低电平信号,单片机接收到信号后关闭电磁阀,气缸停止工作,之后中心定位气缸启动进行中心定位,定位后则可对该焊缝进行射线检测。预堆边位置定位是通过位置传感器 S<sub>2</sub> 实现的,过程同上。

### 2.3 气动系统设计

气动系统包括气源、气缸、控制柜、气管、分配器等部件,其主要功能有为中心定位机构、轴向定位调整机构提供动力和曝光位置充气气囊排水等功能。系统对气动控制部分的要求为:控制 6 个气缸、1 个气囊的进气和排气动作、操作手柄动作。其中,一路电磁阀可以同时控制两个气缸,气囊的进气和排气需要一路电磁阀加压力传感器组合控制。设计采用便携式的操作盒,面板上配置常用按钮,完成头部支撑动作、尾部支撑动作、定位环支撑动作及传感器校准等功能。操作盒内布置有:5 路电磁阀及相应气动管路、控制电路板、直流电源和压力传感器。其中 3 路电磁阀分别对应头部支撑、尾部支撑、定位环支撑气缸控制,气囊的充气和抽气由一路电磁阀加压力传感器控制实现,手柄动作由另一路电磁阀完成。系统气路控制回路见图 3。

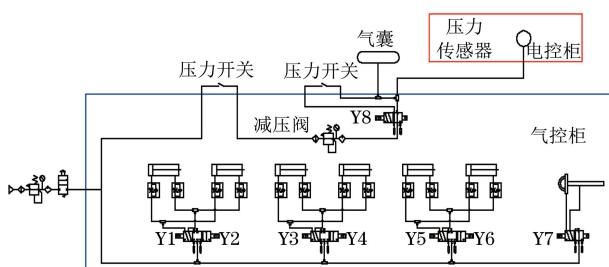


图 3 系统气路控制回路示意

### 3 控制系统软件设计

控制系统软件设计主要分为上位机控制界面设计和下位单片机程序设计。上位机程序采用 VC++ 编写, 主要实现指令的发送、传感器信息反馈和上下位机通信功能<sup>[5]</sup>, 其中上位机控制界面如图 4 所示。

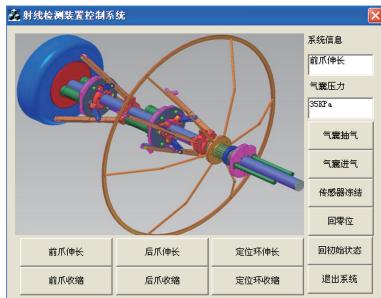


图 4 上位机控制界面

单片机程序在单片机常用编译平台 Keil C 下完成, 主程序先进行 I/O 端口、计时器的初始化, 然后进入单片机所要求的 while(1) 循环, 在循环中不断判断各个按钮的状态, 若按钮被按下则执行相应的程序。

在此系统中, AT89S52 单片机外接晶振频率为 11.059 2 MHz, 串口通讯波特率设置为 9 600。

### 4 接管安全端射线检测装置定位试验

为了检验射线检测装置的定位准确度和定位精度, 项目组进行了多次试验。试验在厂房反应堆模拟体水池中进行。反应堆压力容器接管模拟体第一道焊缝距离接管端头 76.5 mm(称为位置 1 或 P<sub>1</sub>); 预堆边照相位置距离接管端头 170 mm(称为位置 2 或 P<sub>2</sub>); 第二道焊缝距离接管端头位置为 192 mm(称为位置 3 或 P<sub>3</sub>)。射线检测装置定位精度控制数据结果如表 1 所示。

通过表 1 容易计算出, P<sub>1</sub> 的标准方差  $\sigma_1 = 1.2$ , P<sub>2</sub> 的标准方差  $\sigma_2 = 1.0$ , P<sub>3</sub> 的标准方差  $\sigma_3 = 0.8$ 。射线装置的定位精度好于  $\pm 2.5$  mm, 最大定位误差为 3.5 mm(目标位置对应的误差范围为  $\pm 5$  mm)。由此可见该系统的控制精度符合设计要求。

表 1 射线检测装置定位精度控制数据 mm

序号	位置 1		位置 2		位置 3	
	测量值	偏差	测量值	偏差	测量值	偏差
1	78.0	1.5	172.0	2.0	192.5	0.5
2	80.0	3.5	171.5	1.5	191.5	-0.5
3	78.0	1.5	171.5	1.5	192.5	0.5
4	76.0	-0.5	169.5	-0.5	192.0	0.0
5	79.0	2.5	170.5	0.5	193.5	1.5
6	79.0	2.5	170.0	0.0	191.0	-1.0
7	77.0	0.5	169.5	-0.5	191.0	-1.0
8	76.5	0.0	172.0	2.0	192.5	0.5
9	78.0	1.5	171.0	1.0	192.0	0.0
10	78.5	2.0	172.0	2.0	192.0	0.0
均值	78.0	1.5	171.0	0.95	192.1	0.05

### 5 结语

RPV 接管安全端焊缝水下射线检测装置以 AT89S52 为核心控制器, 采用计算机自动控制和手动操作相结合、电气分离控制技术, 并辅以压力传感器和霍尔传感器及 CCD 摄像头, 实现了水下射线检测的可视化和高精度定位。RPV 接管安全端水下射线检测装置的模拟试验结果表明, 该控制系统运行平稳, 定位精度符合要求。

### 参考文献:

- [1] RCC-M 2000 压水堆核岛机械设备设计和建造规则 [S].
- [2] 丁伯民. ASME VIII 压力容器规范分析 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2014.
- [3] 王国伟. 核岛安装管道对接环焊缝的检测方法 [J]. 核电子学与检测技术, 2010, 30(12): 1668-1669.
- [4] 孙育才. ATMEL 新型 AT89S52 系列单片机及其应用 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2005.
- [5] 田敏, 郑瑶, 李江全, 等. Visual C++ 数据采集与串口通信测控应用实战 [M]. 北京: 人民邮电出版社, 2010.