

# 自动扫描超声探伤检测系统抗干扰解决方案

游红武, 丁红钢, 高翔

(浙江工业大学 机械工程训练中心, 浙江 杭州 310032)

**摘要:**为解决自动扫描超声探伤检测系统中超声信号所遇到的干扰,从系统的组成、工作流程方面入手,探讨了噪声产生的来源、传导方式、途径,并进行了分析,然后从系统集成的层面上提出了在设备设计及实施过程中具有一定抗干扰能力又行之有效的系统集成方案,并探讨了在该集成方案下对各种干扰可以采取的措施,对之进行了分析、比较,提出了有效的解决方案。研究表明,该方案使大型自动扫描检测系统的扫描效率和质量得到了有效保证。

**关键词:**超声检测;自动化;系统集成;干扰

中图分类号:TH39;TH878+.2

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2011)11-1310-04

## Solution to interference of auto-scanning & ultrasonic testing system

YOU Hong-wu, DING Hong-gang, GAO Xiang

(Training Center of Mechanical Engineering, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310032, China)

**Abstract:**To solve the interference of the auto-scanning & ultrasonic testing system, the source of the interference, the conductive method and path from the parts of the auto-scanning & ultrasonic testing system were researched and analyzed, a effective proposal of the system integration with certain antijamming ability was given in the process to design and manufacture the equipment. And all kinds of the antijamming methods under the integrated proposal were explored and compared. At last, the effective solution to reduce the interference was given. Results show that it can gurantee the effecency and quality of auto-scanning & ultrasonic testing system.

**Key words:** ultrasonic testing; automation; system integration; interference

## 0 引言

具有自动扫描功能的大型超声探伤检测系统和单台手持式超声探伤仪不同,是采用伺服电机带动超声探头进行扫描检测。由于驱动伺服电机的电路在工作时会产生较强的电磁干扰,对超声探伤接收的波形往往会产生比较大的干扰<sup>[1-4]</sup>。由于对缺陷的判断是由计算机程序自动完成的,在扫描、运动过程中产生的干扰会严重影响检测的结果。目前,国内能够研制、生产大型的自动化超声检测设备的公司很少,大部分都是依靠进口,所以,一方面国内现有的文章大多是针对某个小型(或手持式)探伤仪(或探伤卡)个体内部电路的抗干扰或对超声信号进行的各种软件的处理进行研究,而对大型的、自动化的检测设备的干扰进

行系统性分析的很少,另一方面,国外在这些高科技设备上的研制经验也很少会公开<sup>[5-12]</sup>。

本研究主要从系统集成角度探讨、论述大型超声自动探伤检测系统的干扰的解决方案,以及分析了笔者和一国内有名的大型超声设备提供商进行合作研制过程中的一些经验。

## 1 自动扫描超声探伤检测系统的干扰解决方案

### 1.1 自动扫描超声探伤检测系统的组成

自动扫描超声探伤检测系统一般是用于检测大型的平板、曲面、棒材等工件的,可以按照预定的轨迹控制探头(或者工件)做 3 个坐标以上的运动进行自

动扫描检测,使检测效率和可靠性大大提高。一些高性能、多自由度(5~9个)的自动扫描超声探伤检测系统甚至还可以实现反求功能,自动扫描出工件的表面形状再进行超声探伤,使结果更准确、可靠。

自动扫描超声探伤检测系统一般由运动驱动系统、超声检测系统、缺陷分析系统等组成,如图 1 所示。其中,运动驱动系统是实现自动扫描的关键部分,由多个伺服电机来构成多自由度的扫描系统,以驱动探头或者工件运动;超声检测系统是实现超声波发射、接收、采样、波形显示等的功能系统;缺陷分析系统由计算机专用分析软件来实现,对接收、采样的超声波形进行缺陷的定性、定量分析。

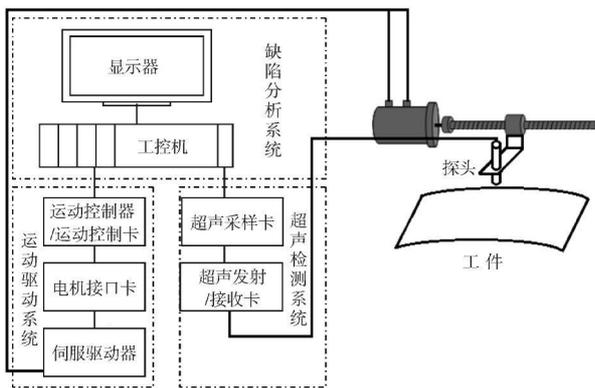


图 1 自动扫描超声探伤检测系统组成

该系统工作流程是在系统集成运动、探伤软件控制下,控制探头按照事先规划好的扫描轨迹(对于曲面可通过预扫描的方式进行)连续运动,系统根据探头运动的位置(反馈回来的位置)每隔一定位置间隔进行一次超声信号的发射、接收、采样,由分析显示模块同步对采样的超声信号进行分析、显示。该系统工作的特点在于超声检测是按位置间隔进行,而运动驱动则是处于连续工作状态。由于超声信号的采样是每个位置需要采样 500~10 000 个数据,才能有效分析出缺陷,而且信号的分析是实时进行的,对超声信号的信噪比要求比手持式探伤仪及非实时缺陷定性分析要高,这样能简化软件处理工作量,提高自动检测的速度和效率。

### 1.2 自动扫描超声探伤检测系统的干扰分析

超声探伤检测系统的干扰一般指的是除了目的超声波信号之外所有的电子信号噪声。从上述自动扫描超声探伤检测系统的组成、特性分析,干扰的来源主要有以下几种:

(1) 功率半导体器件开关过程造成的电磁干扰:伺服电机的驱动电路往往采用各类现代功率半导体器件,如功率半导体、大功率晶体管(BJT)、晶闸管(SCR 和 GTO)、复合场控功率晶体管(IGBT)、功率场

效应管(SIT 和 MOSFET)等。在这些器件开关过程中,都存在较高的  $di/dt$ ,它们通过线路或者引线电感引起瞬态电磁噪声,频率可达几十千赫兹至几百千赫兹甚至更高,成为不可忽视的噪声源。另外 PWM 技术在场效应功率器件中的应用也是产生谐波噪声的一个重要因素。对超声信号的干扰主要就是运动驱动电路产生的。直流伺服电路关闭和开启下的超声波形如图 2 所示,从图中可以看出,超声波在伺服电路开启下出现了明显的周期性的干扰波。

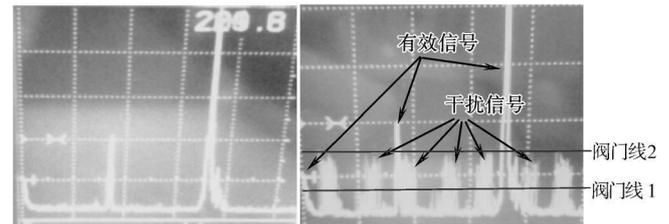


图 2 伺服关闭/开启下的超声波形

(2) 整流电路和高频开关电源造成的谐波干扰:检测系统中往往有一些元器件需要直流供电,而整流电路和高频开关电源造成的谐波干扰均可以传导耦合的方式造成对接在同一电网的其他设备的干扰。

(3) 环境电网和其他设备造成的干扰:在工业电网中由于会接有各种电力设备,其运行往往会有大量的谐波和电磁噪声,会对电网的其他设备造成干扰。

(4) 和其他设备不同的地方在于,自动扫描超声检测系统中还存在检测信号(超声波、高频信号)对驱动控制电路、计算机等其他电路的干扰。

从传播途径看主要是导线传导的耦合噪声、经公共阻抗的耦合噪声和电磁场的耦合噪声。

从干扰对超声信号的影响看,未采取有效抗干扰措施的电路的干扰波形和有效的超声波形无法有效区别,如图 2(b)所示。在后续软件处理中可以使用阀门控制线对干扰进行处理。由于干扰比较强,如用太低的阀门线(阀门线 1),则不能有效去除干扰,造成缺陷的误判,如果取高些(阀门线 2),则可能把有效缺陷信号也给去除,造成缺陷的漏检。即使通过一些其他分析方法(如频谱分析、小波分析等)能将缺陷和干扰做一定程度定性的区别,但对于一些定量分析和实时性要求高的检测是无法满足的,这样会给后续软件的处理增加很大的难度和工作量。所以,对于自动扫描超声检测系统来说,从系统集成层面考虑降低系统整体的噪声是至关重要的,而不是对个体电路或通过后续软件处理的方法来解决干扰。

### 1.3 干扰解决方案

因为有大量的文章研究探伤仪、探伤卡伺服驱动

等个体电路的抗干扰方法及软件的处理方法,同时相应的技术也很成熟,没有必要再去对这些进行研究。本研究的重点是从系统集成角度探讨、论述对于自动扫描超声探伤检测系统的干扰解决方案以及实施经验。

对于自动扫描超声探伤检测系统的干扰解决方案,笔者从系统的电路集成方案、隔离、滤波、屏蔽几方面来分析。

### 1.3.1 合理的电路集成方案

采用合理的电路集成方案是保证自动化扫描系统受到的干扰尽可能小,系统具有优良的检测性能的关键。从系统集成看,自动扫描超声检测设备电路主要由运动驱动电路、控制电路、超声检测电路组成,下面从这几部分电路的特点、抗干扰要求、常用方案的特性、抗干扰能力来确定具有合理的抗干扰能力的自动扫描超声探伤检测系统的电路集成方案:

(1) 运动驱动电路。运动驱动电路是实现自动化扫描的关键,同时也是超声信号比较主要的干扰源。根据供电电源可分为直流伺服驱动电路和交流伺服驱动电路。直流伺服驱动电路一般是采用变压器降压后经整流为直流电供电,功率驱动器件常采用场效应管,采用 PWM 技术控制,特点是简单、成本低,但其缺点是有电刷、易磨损。交流伺服驱动电路采用交流电供电,功率驱动器件常采用复合场控功率晶体管(IGBT),其特点是电路复杂、成本高,但无电刷、易维护。上述两种方式的直流伺服驱动系统由于采用直流电驱动,电路中电流畸变、谐波小,对超声信号干扰小,但由于其控制往往采用 PWM 方式进行,处理不好的话,反而会导致超声信号出现和调制脉冲频率相同的尖峰干扰,如图 2(b)所示。而且控制电路和功率驱动电路往往共用参考地,无隔离(如意大利的 MCS Plus 直流伺服系列等),易通过传导耦合传递干扰,而交流伺服电路目前随着交流伺服驱动技术越来越成熟,电路中的谐波噪声只要采取措施得当,干扰并不大(如图 4 所示),而且控制电路和功率驱动电路往往相互隔离,从系统集成的角度考虑更易采取一些措施减小干扰的影响,所以,建议在自动扫描超声探伤检测系统采用交流伺服系统实现自动扫描。

(2) 控制电路。运动控制可以采用运动控制卡、独立的运动控制器、PLC 等。独立的运动控制器、PLC 抗干扰性好,容易和超声电路隔离,如果是一些简单的、标准的工件,可以采用。运动控制卡一般直接装在工控机中,可以实现比较复杂的工件的扫描(如曲面等),同时容易和超声采样、分析程序模块集成化,更容易保证运动位置和扫描位置的同步。运动控制卡一般通过接口卡和运动驱动电路相连接,从抗干扰角度

来说要求接口卡具有光电隔离的措施,使之能有效地隔离运动驱动电路的干扰。所以,从更易于实现软件系统的集成考虑,在大型的多自由度自动扫描系统中建议采用运动控制卡及具有光电隔离的接口卡来实现运动控制和干扰的隔离。

(3) 超声检测电路。超声检测电路实现超声的发生、接收、采样、数据存储、传送,既是主要的被干扰对象,同时其高频信号对其他电路也会产生干扰。常用于自动扫描系统中的超声检测部件类型有数字式超声探伤仪和超声探伤卡。数字式超声探伤仪既可单独手动探伤,又可用于自动探伤,可以存储一定的数据,同时又可通过如 RS-485 等通讯接口将数据高速传送至计算机进行分析、处理,从电路来说,也易于和运动控制电路、计算机等隔离,但缺点也比较明显,尽管其与计算机之间能够高速通讯,但对于自动扫描系统来说仍然满足不了产生的大量数据的传送速度,会影响自动扫描的速率。超声探伤卡的特点是直接安装在工控机中,使用方便,采样的数据可以直接传送至工控机内存中,速度和存储空间能完全满足扫描速率的要求,超声的发射、接收、采样、传送易于集成至软件系统中,电路中均有优异的隔离措施,避免超声信号对工控机数字电路的干扰,同时,一般随带的驱动程序中已经集成了软件滤波等抗干扰的功能,能有效消除超声波频率之外的噪声干扰,给后续软件的处理带来很大方便。所以,建议使用超声卡来实现超声的检测电路。

(4) 可靠的部件、元器件。选择可靠性高的元件能有效保证系统工作的稳定性和抗干扰能力,如检测系统采用的运动控制卡、超声采样卡一般均采用计算机内安装的板卡,所以计算机要选用适合在工业现场使用的抗干扰能力优异的工控机(如西门子工控机、研华工控机),这也是运动控制卡、超声采样卡工作稳定、可靠的重要保证。

从上述部件的电路方案的分析、选择看,自动扫描检测系统的运动驱动电路选择交流伺服系统,控制电路采用运动控制卡,超声检测系统采用超声卡。这样的系统集成虽然单个部件不是干扰最小的系统,但是,从系统集成的层面上它既保证一定抗干扰能力,又保证良好的检测性能,同时又非常容易实现硬件、软件系统的各种功能集成的系统,这也是经过实际验证的比较优异的系统集成方案。而后续讨论的抗干扰措施也是基于这个方案来进行的。

### 1.3.2 系统的隔离

隔离是有效阻截、衰减噪声的措施。按上述系统集成方案进行的自动扫描超声检测系统需要的隔离包括:强电(运动驱动系统)、弱电电路(控制电路、计

算机等)的隔离,工业用电环境和设备用电的隔离。强电、弱电电路的隔离措施通常是在它们之间使用光电隔离接口板来建立起两者联系的同时又将直接传导耦合的干扰有效隔离。另外,强电、弱电电路之间的隔离还包括空间上的隔离,可以将各强电器件(如伺服电机驱动器等)和弱电器件(如计算机等)分开放在不同的电气柜,有效隔离通过辐射的干扰。工业用电环境中由于存在大量的各种干扰,不仅会影响超声信号,而且会影响工控机、运动控制卡等的正常工作,甚至伺服驱动电路等的正常工作也会受到影响,所以,与设备的一些重要器件之间必须采取一些有效的隔离措施。比如对工控机和直流电源的供电电源均可安排隔离变压器,有效地抑制来自电源以及其他电路的各种干扰。隔离变压器的原、副绕组一般采用分置于不同的心柱上,对整个变压器,最好能罩一个屏蔽外壳。

### 1.3.3 系统的滤波

滤波是对传导干扰十分有效的方法。本研究在超声扫描系统中主要使用的是电源滤波器,用来防止电网输电线中的各种高频、超高频及瞬态噪声,通过传导耦合进入各部分电路。选用滤波器的时候,必须注意 L、C 元件的参数要与负载阻抗的匹配,如果不合适的话,不仅收不到效果,还可能导致新的噪声。一般来说,像批量生产的工业产品应该尽可能选用同厂配套的滤波器,如伺服驱动器、工控机等一般都会有和相应型号配套的滤波器供选用。另外,磁环可以说是在滤波中一个成本低廉,又非常有效的抗干扰的元件。将整束电缆穿过一个铁氧体磁环,在磁环上面绕几匝其实就构成了一个共模扼流圈,能使正常有用的信号很好地通过,又能很好地抑制高频干扰信号的通过。在实际应用中,要根据干扰电流的频率特点来调整磁环的匝数。匝数越多,对频率较低的干扰抑制效果越好,而对频率较高的噪声抑制作用较弱。通常当干扰信号的频带较宽时,可在电缆上套两个磁环,每个磁环绕不同的匝数,这样可以同时抑制高频干扰和低频干扰。一般在伺服驱动器的电源输入侧和电机输出侧均可安放 1~2 个磁环,会有不错的效果。

### 1.3.4 系统的屏蔽

屏蔽是实现电磁干扰防护的最基本也是最重要的手段之一。屏蔽的有效性取决于完善的屏蔽和屏蔽体良好的接地。目前实施方案中伺服电机的动力线、超声信号线均要从电柜拉至机架处,长度近 20 m,存在强烈的电磁辐射干扰,而控制线则易受干扰,所以,对上述 3 类线都要实施屏蔽。在电路中伺服电机的动力线和控制线均采用屏蔽电缆,其中伺服电机的动力线须在线的两端均良好接地。屏蔽层在接地时不能破

坏其屏蔽层的完整性,在电机端须和电机管接头的外壳 360°全面接地,在伺服驱动器输出端须在尽量靠近输出端子处用电缆夹子等尽可能 360°范围压在可靠接地的金属安装板上(如图 3 所示)。控制线一般采用双绞屏蔽线,可有效防止噪声干扰,其屏蔽层可单端接在源端处的信号参考电位处(0 V)。如果要求比较严格的情况,可采用双绞双屏蔽电缆,但在超声检测系统设计过程中,双绞屏蔽线已经完全满足要求。超声探头线由于是从工件检测处引至超声卡处,线长,且和其他电缆一起走线,既要防止外部对信号的干扰,也要防止超声波对其他电路的干扰,必须要屏蔽。厂家提供的线一般是不带屏蔽的,所以,本研究在实际应用中是采用在探头线上套上编织严密的铜网线来实现屏蔽,同时屏蔽层也必须可靠接地。

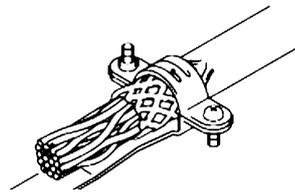


图 3 屏蔽层接法

### 1.3.5 合理的接地

接地不仅仅是安全的保证,同时也给各电路、各系统提供一个参考电位。良好的接地系统可以使由地产生的直接传导干扰、信号地产生的辐射干扰、各部分地电位差引起的地电流等等的干扰得到有效地抑制。在实际应用中,要保证接地系统要具有很低的公共阻抗,比如电气柜的元件安装板采用镀锌板(不用环氧树脂板),而且最好采用整块金属板,各器件的金属外壳最好以面积最大的部分直接安装在金属板上,来最大限度地减小各器件地电位之间的公共阻抗。强电、弱电电路,各电气柜的各器件分别在各部分电路中一点相接,然后再在整个设备中一点共同接地。各部分之间地电位必须保证极低的阻抗。

### 1.3.6 合理布线

由于在设备的机架、导轨上分布有众多的动力线、信号线,容易相互干扰,要合理安排走线,如信号线和动力线最好分线槽走线,如超声信号线和电机动力线不能放置在同一线槽中。

## 1.4 实际效果

本研究按照上述方案实施的一台 9 坐标轴自动扫描超声检测系统的实际效果如图 4、图 5 所示。交流伺服驱动下采用超声卡采样标准试样,在计算机中显示的超声波形如图 4 所示,从中可以看出明显的始波、表面反射波、缺陷波、底波,无明显的干扰波。超声

(下转第 1318 页)

## 参考文献(References):

- [1] MIL-STD-810F Military Standard: Test Methods and Procedures for Microelectronics[S]. Washington D.C., U.S. Office of Naval Publications, 2000.
- [2] IEC 68-2-27 International Standard: Basic Environmental-Testing Procedures [S]. Geneva International Electrotechnical Commission, 1987.
- [3] GOYAL S, BURATYNSKI E K. Methods for realistic drop-testing [J]. **International Microelectronics and Packaging Society**, 2000, 23(1): 45-52.
- [4] 张 华. 冲击数据采集分析系统在包装跌落实验中的应用研究[J]. 环境适应性和可靠性, 2009(5): 21-22.
- [5] 吴颜颖, 郑全成. 运输包装件跌落冲击响应仿真分析[J]. 中国包装工业, 2007(5): 79-81.
- [6] Altera Corporation. Nios-II processor reference handbook [EB/OL]. [2010-12-01]. [http://www.altera.com.cn/literature/hb/nios2/m2cpu\\_nii5v1.pdf](http://www.altera.com.cn/literature/hb/nios2/m2cpu_nii5v1.pdf).
- [7] 李 佳, 林春成. Nios-II 软核在数字式超声探伤系统中的应用[J]. 机电工程技术, 2009, 38(7): 132-134.
- [8] D'ACQUISTO L, MONTANINI R A study on the measurement instrumentation for a custom-made bipendulum impact testing machine[J]. **IEEE Transactions on Instrumentation Measurement**, 2008, 57(11): 2487-2494.
- [9] 全国电工电子产品环境条件与环境试验标准化技术委员会. GB/T2423.5-1995 电工电子产品环境试验第 2 部分: 试验方法 试验 Ea 和导则: 冲击[S]. 北京: 中国标准出版社, 1995.
- [10] 李鸿儒. 小型跌落冲击台的设计原理 [J]. 气象水文海洋仪器, 2002 (1): 19-30.
- [11] 代金强, 戚亚宁. 20 m 塑料管材落锤冲击试验装置[J]. 轻工机械, 2009, 27(2): 91-93. [编辑: 张 翔]

(上接第 1313 页)

扫描软件自动扫描的图像如图 5 所示, 可见 3 个人工缺陷孔的成像(分别是  $\Phi 1$  mm,  $\Phi 2$  mm,  $\Phi 5$  mm 的孔)。

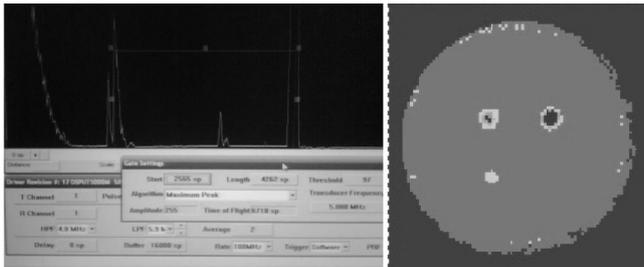


图 4 交流伺服驱动、超声卡采样波形 图 5 自动扫描图像

## 2 结束语

对于自动扫描超声检测系统, 只有先确定相对合理的、能满足一定抗干扰要求的系统集成方案, 然后从系统集成的层面上考虑措施降低干扰, 才能既使系统的整体干扰处于可控的范围, 使后续信号处理的难度、工作量大大降低, 同时又使大型的自动扫描检测系统的扫描效率(速度)和质量(缺陷识别)得到有效保证, 设备的成本又相对较低。

随着技术的发展以及检测材料、环境等等的不同, 合适的系统集成方案不尽如本研究所提的方案, 相应的抗干扰措施也应随之变化。本研究仅仅提出一种从系统集成的角度考虑问题的思路, 供各位专家、同行指正、交流。

## 参考文献(References):

- [1] 赖祖武. 电磁干扰防护与电磁兼容[M]. 北京: 原子能出版社, 1993.
- [2] 钱照明, 程肇基. 电子电力系统电磁兼容设计基础及干扰抑制技术[M]. 杭州: 浙江大学出版社, 2000.
- [3] TIHANYI L. Electromagnetic Compatibility in Power Electronics[M]. Florida: J.K Eckert & Company Inc., 1995.
- [4] JIN J M. The Finite Element Method in Electromagnetics [M]. New York: John Wiley & Sons, 1993.
- [5] 黎 勤, 盖晓明, 黎 华. 浅谈电磁干扰对电感式接近开关的影响[J]. 机电工程, 2008, 25(1): 99-101.
- [6] 李 挺, 朱金刚, 孙 晖. 机电一体化系统的抗干扰措施[J]. 机电工程, 2000, 17(6): 5-7.
- [7] 张晓枫, 王大海, 刘艳霞. 超声波车辆检测中的抗干扰技术[J]. 电子技术应用, 1999, 25(9): 37-39.
- [8] 罗 捷, 路鸿年. 自动超声检测系统中的电机干扰研究[J]. 无损检测, 2007, 29(3): 135-138.
- [9] 孙良旭, 李林林, 吴万国, 等. 钢管焊缝超声探伤系统 PLC 设计[J]. 机电工程技术, 2010, 39(5): 42-44.
- [10] 张洪民, 胡夏夏, 高爱兵. 超声波电机摩擦驱动模型及其有限元仿真[J]. 轻工机械, 2010, 28(6): 82-85.
- [11] 丁旭升, 林彬泉, 杨青兰. 基于 PLC 的钢管自动超声探伤控制系统的设计[J]. 机电工程技术, 2009, 38(7): 20-22.
- [12] 郭成彬, 黄振俨, 毛 捷, 等. 超声探伤信号处理装置及其抗干扰处理方法: 中国, CN95107420.2[P]. 1998-06-03.

[编辑: 张 翔]