

关于压力管道裂纹检验中的无损检测技术研究

黄晓昕（广东省特种设备检测研究院汕头检测院，广东 汕头 515000）

摘要：压力管道是在工业生产中的重要组成部分，压力管道的安全运行直接关系到生产和人民生命财产的安全。为了保证压力管道的安全运行，在使用过程中需要定期对其进行检验，以及时发现存在的问题。但是由于在用压力管道运行环境复杂，经常会遇到各种腐蚀性、强氧化性介质，并且承受一定的压力，长期处于高压状态，所以在用压力管道极易发生各种缺陷和腐蚀等问题。比如在焊接过程中产生裂纹、表面或近表面缺陷等。如果不能及时发现，或者缺陷较大时没有及时进行处理，就会导致泄漏、爆炸等严重事故发生。因此为了确保压力管道的安全运行，在用压力管道进行定期检验是非常有必要的。

关键词：压力管道；无损检测；裂纹检测

压力管道无损检测技术主要是利用现代无损检测技术和仪器对在用压力管道进行检测的一种方法。其主要是利用各种检测仪器和设备对在用压力管道的表面、内部和近表面进行检测，以发现是否存在裂纹、腐蚀以及其他缺陷等。与传统的破坏性检测方法相比，无损检测技术具有安全、高效、节约成本等优点。因此在用压力管道裂纹检验中，必须要加强对无损检测技术的应用。

1 磁粉检测

磁粉检测是在压力管道检验中应用最为广泛的一种方法。其主要是利用磁粉在压力管道表面产生的磁化作用，使缺陷处产生漏磁场，从而被磁化的磁粉与空气中的氧或氢气等反应生成铁磁性物质，这样就会形成漏磁场，然后利用磁力仪、涡流检测器等检测设备对缺陷处进行检测，以发现存在的缺陷。虽然这种方法检测灵敏度高、检测速度快，但是对于铁磁材料的磁痕显示并不能很好地进行判断。而且由于磁粉存在较强的磁性，所以在使用过程中容易出现漏检现象。因此在实际应用中必须要将其与其他方法进行综合应用。由于压力管道多为碳素钢、低合金钢等金属材料制成，因此可以利用金属磁记忆对压力管道进行无损检测。金属磁记忆技术主要是利用材料中的磁记忆效应对压力管道进行检测。通过磁粉检测技术可以快速、准确地检测出压力管道表面和内部的裂纹、气孔等缺陷，但是其仅适用于铁磁性材料。对于非铁磁性材料中存在的裂纹、气孔等缺陷，就不能进行有效地检测。另外磁粉检测还可以用于缺陷定位。在对压力管道进行检验时，由于压力管道结构复杂，所以很难通过肉眼直接观察到缺陷的位置和形状。所以可以利用磁粉对其进行定位，然后根据磁粉颗粒大小对缺陷进

行识别和分类，这样就能够确定缺陷的具体位置和形状等信息。例如在检验过程中可以将磁粉颗粒直径为 $10\mu\text{m}$ 、长度为 1mm 的磁粉颗粒均匀地撒在金属表面上，然后再利用磁力检测仪进行定位和测量，可以有效地实现对压力管道表面缺陷的定位。对于金属磁记忆技术在压力管道裂纹检测中的应用还需要注意以下几点：①检测时需要将磁粉均匀地撒在压力管道表面上；②检查人员不能在磁场中停留过久；③对于压力管道表面有腐蚀、裂纹等缺陷时，需要先将其清除干净再进行检测。

2 超声波检测

超声波检测技术是无损检测中应用最为广泛的一种方法，其主要是利用超声波在介质中的传播规律，利用仪器设备检测出介质中是否存在缺陷。与其他无损检测技术相比，超声波检测具有很多优势，其主要表现在以下几个方面：第一，超声波检测的速度快。由于超声波在介质中传播时会产生反射和折射等现象，因此其速度非常快。根据实验结果显示，在相同的距离下，超声波在介质中传播时速度比空气中传播时速度快。因此与其他无损检测技术相比，超声波检测具有非常高的灵敏度和分辨率，可以实现对较小缺陷的检出。第二，超声波检测具有较强的穿透能力。这是因为其可以同时进行多个方向的反射和折射，因此可以准确探测到介质中是否存在缺陷。第三，超声波检测对人体没有危害。

在用压力管道裂纹检验中应用超声波检测技术时，需要注意以下几个方面：第一，管道母材必须是不锈钢或与其合金材料相同的材料。如果管道材料为碳钢或其他材质时不能进行超声检测。第二，在用压力管道使用之前必须对其进行全面检查和测试。如果

需要对其进行超声无损检测,则必须在其安装之前对其进行全面测试。第三,在用压力管道内部存在较多缺陷时不能使用超声波无损检测技术。

常用的超声无损检测仪器有两种:第一种是可探测波束半角为 90° 的纵波超声检测仪。纵波超声检测仪主要由换能器、探头、信号处理系统、显示系统和计算机控制系统等组成。其中探头和信号处理系统是其核心部件。纵波超声检测仪可以对裂纹等缺陷进行准确定位和定量表征,因此在用压力管道裂纹检验中广泛应用纵波探伤仪对管道进行无损检验。纵波超声检测仪具有灵敏度高、操作简单、使用方便等优点,但其缺点也很明显:一是成本较高;二是对于不同的管道材料不能进行准确的定量;三是使用时需要长时间对其进行校准;四是在实际应用中纵波超声波检测仪存在较多问题:①灵敏度和分辨率不高;②不能对不同材料进行定量;③仪器中的信号处理系统只能处理纵波信号而无法处理横波信号;④纵波仪对设备的要求较高,并且需要专业人员操作和维护设备才能使用;第二种是横波波束半角为 60° 的纵波超声检测仪。横波波束半角为 60° 的横波探伤仪能够对不同材料进行准确定位和定量表征,并且可以实现对不同材料进行定量和定位分析,但是其缺点也很明显:一是对于材料的选择较为苛刻;二是设备较为复杂和昂贵;三是对操作人员要求较高;四是在实际应用中容易受到仪器自身精度和环境影响而出现较大误差。

在用压力管道裂纹检验中应用纵波超声波检测仪可以准确定位管道裂纹位置,并且可以对管道内部不同材料进行定量分析,从而提高了纵波超声检测技术的准确度和可靠性。但是由于纵波超声波检测仪存在较多问题,比如对材料的选择较为苛刻、需要专业人员操作和维护设备等问题,因此在实际应用中存在较多限制因素。综合考虑各种因素影响和应用限制,在用压力管道裂纹检验中应用纵波超声检测仪只能作为一种辅助检测手段进行使用。因此在用压力管道裂纹检验中可以选择使用横波波束半角为 60° 的纵波超声检测仪对管道进行无损检测。

3 渗透检测

渗透检测是一种表面无损检测方法,利用该方法可将表面的各种缺陷和裂纹等显现出来。渗透检测具有操作简便、费用低等优点,因此在压力管道裂纹检验中被广泛应用。渗透检测主要分为两种方式:一种是渗透探伤仪,一种是渗透清洗装置。

渗透探伤仪,该仪器主要由仪器、显像剂、超声

波探伤仪以及控制系统四部分组成。该仪器主要通过超声波发射和接收作用,在探头与工件之间形成的超声波反射,利用显像剂对缺陷部位进行显像。目前常用的有水基型、非水基型、油性等多种类型的显像剂。并且该仪器具有对试件表面无损伤、对工件厚度无要求、灵敏度高、自动化程度高等优点,因此在压力管道裂纹检验中具有广泛应用。

渗透清洗装置,该装置主要由清洗泵、清洗槽等组成。该装置主要用于对各种类型的缺陷进行清洗,如:裂纹、表面缺陷等。并且该装置还具有自动控制功能,可通过手动控制或自动控制对各种缺陷进行处理,并通过自动清洗系统对其进行清洗。在压力管道裂纹检验中渗透检测应用较少,主要是因为该设备价格较高,且操作繁琐;另外渗透清洗装置还受工件材质、厚度等因素影响,对于薄壁管道检测效果较差;此外该设备对环境要求较高,必须要有足够的通风条件才能正常使用。渗透检测的基本原理是:在工件表面涂覆显像剂后,在压力管道中注入一定量的溶剂或者树脂等液体,待溶剂或者树脂等液体渗透到表面后会形成一层渗透膜;然后在压力管道表面上施加一定的压力,使渗透膜发生破损而产生透过性的信号;最后将透过性信号输入到仪器中,通过对信号进行处理分析来判断是否存在缺陷。

4 射线检测

射线检测主要是利用X射线、 γ 射线和中子等射线对压力管道进行检测,通过对这些射线的分析来确定其是否存在裂纹、腐蚀以及其他缺陷。根据射线检测技术的原理,可以将其分为 γ 射线检测法、X射线检测法、中子检测法等。其中 γ 射线检测法主要是利用X射线在压力管道中的穿透能力和能量,通过对压力管道中的裂纹等缺陷进行检查,可以确定其是否存在缺陷,以此来判断管道的安全性。在用压力管道无损检测技术中,要根据不同的缺陷类型和缺陷特征选择不同的检测技术。其中在用压力管道裂纹检测中,由于裂纹形态、分布和尺寸等因素的不同,因此可以选择不同的检测技术。在用压力管道裂纹检验中应用较多的无损检测技术主要有:超声检测法、磁粉检测法以及渗透探伤法等。其中超声检测法主要是通过利用超声检测设备和仪器对压力管道中的裂纹等缺陷进行检查,以发现是否存在裂纹等缺陷;渗透检测法主要是通过利用特殊的探伤材料或专用设备对压力管道中存在的缺陷进行渗透探伤;磁粉检测法主要是通过利用磁感应设备对压力管道中存在的裂纹等缺陷

进行检查,以确定其是否存在裂纹、腐蚀等问题;渗透探伤法主要是利用专用设备对压力管道中存在的裂纹、腐蚀等问题进行检查。

5 超声相控阵检测

超声相控阵技术是近十多年来发展起来的一种新型超声检测技术,它利用多个超声波换能器交替排列,并用一组控制脉冲来控制每一个超声波换能器的聚焦角度。随着换能器的发展和声发射技术的发展,超声相控阵检测技术获得了越来越广泛的应用。与传统超声检测相比,超声相控阵检测具有以下优点:

5.1 超声波反射成像

传统超声检测以单次反射成像为主,而超声相控阵检测则通过多次反射实现缺陷的成像。通过多次反射形成多个图像,可以清晰地显示缺陷位置、形状以及大小等信息。相控阵缺陷成像方法适用于各种不同形状和尺寸的缺陷检测,能较好地实现复杂结构件、带材的内部缺陷检测。

5.2 能够在不同声束入射角度下实现对不同深度缺陷的探测

相控阵可以同时发射多个脉冲信号,根据多个脉冲信号叠加可以实现对不同深度和形状的缺陷探测。在连续波(CW)模式下,发射两个声束信号,形成二维图像。该模式具有对缺陷检测灵敏度高、缺陷分辨能力强和效率高等优点。

5.3 具有较强的线性扫描能力

相控阵可以通过控制每个声束入射角度形成二维图像,相比于传统超声检测,对结构复杂的焊缝检测具有明显优势。传统超声检测中声束入射角度较小,一般都为 180° 左右,而相控阵检测中声束入射角度较大,一般都为 120° 左右。通过对超声相控阵技术进行应用可以有效提高缺陷定位的准确性。

5.4 具有较高的扫查效率

相控阵可对多个声束入射角度进行扫描,由于每个声束有独立的聚焦位置,可以灵活调整扫描方向和扫描角度。相控阵扫查效率较高,一次扫查即可完成多个焊缝区域的检测任务。与传统超声检测相比具有效率高、成本低、灵活性强等优点。

5.5 具有较强的应用灵活性

相控阵可针对不同缺陷类型进行有效探测。相控阵技术可分为横向、纵向和角向扫描三种扫描方式。其中横向和纵向扫描是通过每个声束入射角度进行控制实现对缺陷位置的精确定位,而角向扫描则是通过在不同的方向上分别发射一个声束进行聚焦来实现

对缺陷定位。

5.6 具有较强的应用灵活性

相控阵可以对多个声束进行扫描并能够得到多个图像,可将多种缺陷成像到一个图像中;相控阵具有较强的应用灵活性和较高的分辨率等优点。

5.7 具有较好的灵敏度

相控阵可以通过对声束入射角度进行调整来改变其灵敏度;相控阵具有较高的灵敏度和分辨率等优点。

5.8 具有较好的可测性

超声相控阵检测可以通过对声束入射角度进行调整来控制缺陷位置和大小;超声相控阵具有可测性,可以通过对声束入射角度进行调整来检测焊缝中的缺陷。

5.9 具有较好的成本优势

相控阵检测技术主要是通过在一声声束入射角度下实现对缺陷位置和大小检测,因此检测成本相对较低;相控阵可以通过多次发射不同声束来实现对多个缺陷检测。因此其成本相对较低。

6 结束语

综上所述,压力管道的裂纹检测技术,是保障压力管道安全运行的重要措施,通过对在用压力管道进行检测,可以及时发现存在的问题,并及时采取相应措施进行处理。但是由于我国压力管道检验工作起步较晚,相关检测技术还不够成熟,所以在用压力管道裂纹检测技术还有待于进一步发展和完善。本文主要阐述了无损检测技术在在用压力管道裂纹检验中的应用现状和无损检测技术在检验中的重要性,以及对无损检测技术进行了分类介绍。虽然目前我国无损检测技术发展相对成熟,但是与国外先进技术相比还存在一定的差距,所以要加强对无损检测技术的研究和探索。本文通过对无损检测技术在压力管道裂纹检验中应用现状和无损检测技术进行分析和研究,为在用压力管道裂纹检验工作提供了一定的理论参考,有助于提高我国在用压力管道裂纹检验水平和质量,进而保障在用压力管道安全运行。

参考文献:

- [1] 孙嘉. 浅谈压力容器压力管道检验的裂纹问题[J]. 现代制造技术与装备, 2023, 59(06): 101-103.
- [2] 赵维强. 冶金工业炉高压容器压力管道检验中的裂纹问题研究[J]. 中国金属通报, 2023(06): 7-9.
- [3] 强敏娜, 张良, 王永乐等. 在用压力管道裂纹检验中无损检测技术分析[J]. 山西化工, 2023, 43(01): 160-161+166.