

国内无缝钢管自动探伤设备应用分析与建议

况雪军

(无锡贝来钢管有限公司, 江苏 无锡 214151)

摘要: 简述国内无缝钢管自动探伤设备的发展现状, 指出各类自动探伤设备的优缺点, 并提出建议。分析认为: 将超声波相控阵探伤应用于自动探伤时, 需要解决超声波能量重复发射、多方向超声波干扰、报警闸门位置与幅度设置等问题; 自动涡流探伤设备在多频检测、信号处理软件分析方面有待优化; 自动漏磁探伤设备若要检测壁厚大于 20 mm 的无缝钢管, 则需要在磁化(线圈)设备的能力或检测线圈的结构参数方面进行优化; 应用数字化自动射线探伤设备时, 有必要对多射线机头进行设置。

关键词: 无缝钢管; 无损检测; 探伤设备; 自动化; 应用; 建议

中图分类号: TG115.28 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-2311(2019)03-0074-04

Analysis and Suggestion on Application of Domestic Automatic NDT Equipment for Seamless Steel Tube

KUANG Xuejun

(Wuxi Beilai Tubes Co., Ltd., Wuxi 214151, China)

Abstract: The present development of automatic NDT equipments for seamless steel tube in China is briefed, advantages/disadvantages of different types of automatic NDT equipments are introduced and suggestions are made. According to the analysis, when ultrasonic phased array is applied to automatic NDT, the following problems shall be tackled, including repetitive emission of ultrasonic energy, interference of ultrasonics from different directions, as well as the setup of the position and amplitude of the alarm thresholds. As for automatic eddy-current testing equipment, the multi-frequency testing and the signal processing software shall be optimized. If an automatic magnetic flux leakage equipment is to be used on seamless steel tube with wall thickness bigger than 20 mm, the capability of the magnetization (coil) device and the structure and parameters of the testing coil shall be optimized. When a digitized automatic radiographic testing equipment is to be applied, it is necessary to set up the multi-ray machine nose.

Key words: seamless steel tube; nondestructive testing; NDT equipment; automatic; application; suggestion

为了确保无缝钢管的出厂质量, 20 世纪 80 年代国内一些无缝钢管生产企业就开始使用涡流与超声波自动探伤设备对成品钢管进行出厂检验。经过几十年的发展, 无缝钢管的产品质量逐步提高, 自动探伤设备的检测能力也迅速发展^[1-8]。现对国内无缝钢管自动化探伤设备的应用情况进行分析, 并据此给出建议, 以促进国内无缝钢管无损探伤技术与设备的应用及后期改进。

况雪军(1968-), 男, 高级工程师, 从事无缝钢管的无损探伤和技术质量管理工作。

1 现状

目前, 国内无缝钢管的无损探伤设备按种类分, 有自动涡流、自动超声波、自动漏磁、(半自动)荧光磁粉探伤等。其中, 自动超声波探伤设备发展为可纵向(双方向)探伤、横向(双方向)探伤、测厚、分层检测。

1.1 自动涡流探伤设备

近年来, 国内无缝钢管自动涡流探伤设备的技术进步:

(1) 从最初的只有幅度声音报警发展为矢量(幅度+相位)扇形报警与幅度报警同时在一个显示

器上,方便调试设备,更有利于探伤人员在实际探伤过程中观察并发现缺陷,提高了不同缺陷的检出能力;

(2) 穿过式线圈的结构得到改进,由原来的2个检测线槽(双差动式)变化为4个(检测线槽宽度不单一的多差动式),保证了无缝钢管上不同大小缺陷的可靠检出;

(3) 对于经过自动涡流探伤后无缝钢管中的剩磁问题,现大多数设备均配制了“反向直流退磁+交流退磁”设备,从而解决了厚壁合金钢管存在剩磁大而影响焊接、机加工及使用精度不高的难点。

为发挥穿过式线圈自动涡流探伤设备检测速度快、效率高的优点,国内一些无缝钢管企业在正常的大生产探伤过程中均采用在不产生误报的前提下尽可能提高探伤灵敏度(如GB/T 7735—2004《钢管涡流探伤检验方法》的B级孔伤再增加5~10 dB辐射当量),以检出无缝钢管中存在的缺陷。当然,提高探伤灵敏度是要以被探无缝钢管的表面质量较好为条件;因此,有些企业采取热轧无缝钢管高压水除鳞,在气体保护热处理炉内进行成品无缝钢管的最终热处理,以及成品管表面喷丸处理等措施,改善被探无缝钢管的表面质量。

1.2 自动漏磁探伤设备

近几年国内无缝钢管的自动漏磁探伤方式发展较快,有两种探伤扫查方式:无缝钢管螺旋前进+探头贴合跟踪,无缝钢管直线前进+横向探头阵列环抱与纵向探头旋转。这两种扫查方式均有纵向(检测线圈)探头与横向(检测线圈)探头,执行标准为GB/T 12606—2016《无缝和焊接(埋弧焊除外)铁磁性钢管纵向和/或横向缺欠的全圆周自动漏磁检测》,调试设备用的样管上均有纵向、横向人工缺陷。特别是近几年随着计算机仿真技术的发展,自动漏磁探伤设备中的信号处理软件与检测线圈的结构方式得到了很大的改善,提高了探伤检测灵敏度。

由于自动漏磁探伤是通过线圈对被探无缝钢管进行磁化,只要分别在无缝钢管中产生纵向与横向两个方向的磁场,且磁化能力足够,对壁厚20 mm以下无缝钢管中不同方向、大小的缺陷均可有效的检测。当然,自动漏磁探伤的信噪比也与被探无缝钢管的表面(粗糙度)状况、直线度有一定的关系。

1.3 自动超声波探伤设备

经过几十年的发展,无缝钢管的自动超声波探

伤设备与技术得到飞速发展:从只有单一方向到必须进行双向的扫查探伤;从只有纵向缺陷的探伤到纵向缺陷与横向缺陷均进行,甚至可进行斜向缺陷的扫查探伤;从最初的4或6个通道发展到目前的20个以上通道;大部分设备具有调试检测无缝钢管中分层或测厚的能力;特别是目前发展起来的无线(信号)传输方式,克服了以前的电刷耦合存在信号干扰和电容耦合存在造价昂贵、维护难的缺点。此外,探伤仪器中重复频率与抗干扰参数(相关选择)的可调提高了自动超声波探伤的信噪比。

对于执行API Spec 5CT—2011《套管和油管规范》的无缝钢管,针对钢管两端进行了镦粗加厚的形式,自动超声波探伤设备采取了一些特殊的、能确保探伤中心线稳定的定心装置。自动超声波探伤设备的扫查探伤系统也有两种方式:①无缝钢管直线前进+探头旋转;②无缝钢管螺旋前进+探头固定(跟踪)。

随着超声波相控阵探伤技术的发展,有人提出了在无缝钢管的自动超声波探伤中应用此技术的可能性。

1.4 (半自动)荧光磁粉探伤设备

上述3种自动探伤设备(涡流、漏磁、超声波)检测无缝钢管时,被探无缝钢管的头尾均存在一定长度范围的探伤盲区(尽管技术的发展已使残存盲区很小),为确保产品的出厂质量,大多数无缝钢管制造企业采用人工目视或手动超声波探伤方式对无缝钢管两端进行检验,也有一些企业采用(半自动)荧光磁粉探伤的方式。虽然(半自动)荧光磁粉探伤设备结构比较简单,对被探无缝钢管的探伤中心线要求不高,但要求探伤人员有一定的探伤经验,且要按照磁粉探伤原理进行系统规范的操作,包括磁悬液的测试、磁化电流的设定、灵敏度试片的要求、真伪缺陷的辨别等^[9]。

2 期 望

目前虽然采用上述探伤方式对无缝钢管进行出厂逐支检验,但实际上还是存在缺陷漏检情况。造成这种情况的原因可能不是探伤操作人员的工作失误、探伤设备管理问题或者探伤工艺不当等主观因素,而是探伤方式或设备存在不足。

2.1 自动超声波探伤设备

(1) 目前国内无缝钢管企业进行的自动超声波探伤均采用脉冲反射式仪器,超声波(横波、纵波)

在扫查钢管壁厚时会带有针对性很强的方向性,而人工缺陷的方向与无缝钢管中可能存在的自然缺陷的方向差异很大,所以会造成一定的翘皮、折叠、裂缝(纹)、内(外)凹坑等缺陷的漏检,而影响质量不大的内(外)划道、纵(横)向擦伤等缺陷的检测灵敏度却非常高。因此,分析认为,由于脉冲反射式探伤存在单一的方向反射型检测,可以说脉冲反射式自动超声波探伤难以满足无缝钢管某些缺陷的检测。但是,这不是说自动超声波探伤的检测能力完全不行,而是其与手动超声波探伤有很大的区别,手动探伤可以灵活地改变超声波的扫查方向,借此提高一定的灵敏度,先扫查找到缺陷,然后再慢慢排查,从而定性、定量地对缺陷进行判断分析。

(2) 自动超声波探伤设备扫查螺距的设置和单个探头的晶片尺寸也是很重要的。ASTM E 213—2014《金属管材超声波检验的标准操作方法》A2 节指出,扫查螺距与探头声束的有效长度与需检出缺陷的纵向长度有关。特别是自动超声波探伤均采用多探头(通道)的探伤方式,探头声束的有效长度是同一方向所有探头晶片尺寸的有效长度之和,但探伤调试时是以单个探头的伤波信号灵敏度来确定起始探伤灵敏度的。所以,所能检出的理想缺陷长度与单个探头的尺寸、扫查螺距、调试探伤灵敏度的人工缺陷的长度有关。理论上,自动超声波探伤在100%单个探头晶片长度的人工缺陷灵敏度调试下进行扫查时,只有不小于2倍单个探头晶片长度的人工缺陷才能确保100%不漏检;且调小螺距也会存在漏检。这个理论同样适用于自动涡流探伤的旋转探头式线圈(点探头),此单个点探头的(轴向)宽度不应大于理论上要检出的长条缺陷伤长度的 $1/2^{[10]}$ 。当然可以通过提高探伤灵敏度来弥补。例如,某钢管企业内控要求提高6 dB辐射当量是有一定的理论根据的。但是,提高6 dB辐射当量后的超声波探伤灵敏度可能又容易引起噪声杂波的干扰而误报或造成小缺陷的误判。这也是所有无缝钢管自动超声波探伤标准对探头晶片大小有明确要求(≤ 25 mm或12 mm)的理论依据。另一方面也说明单个探头的晶片尺寸越小则能发现缺陷的尺寸也越小。但探头晶片太小,为保证一定的探伤速度,就必须增加探头数量与仪器通道数量,这样又会增加设备探伤调试难度与设备造价。国内有单位使用点聚焦探头对小直径航空用不锈钢管进行多通道自动超声波探伤,确实可以发现砂眼、0.05 mm深度的

线状缺陷,其探伤灵敏度相当高,也避免了一般探伤的方向性缺点(因为点聚焦探头的探伤扫查可比喻为用电子探针扫查工件),但探伤速度太低,同时对钢管的内外表面质量(粗糙度)有较高的要求。

(3) 采用自动超声波探伤设备对无缝钢管进行分层检测,由于设置报警闸门与界面波、底波之间的位置不能太近,导致自动分层检测时无缝钢管内外近表面总是存在一定范围的盲区。同时,现执行的GB/T 20490—2006《承压无缝和焊接(埋弧焊除外)钢管分层缺欠的超声检测》应用到自动超声波探伤中,有分层信号后还需要手动探伤再确认评级,且使用 $\Phi 6$ mm平底孔或底波下降10 dB调试灵敏度的方式需要在理论上进行探讨,因此在实际应用中存在一定的难度。而且使用同一探头进行测厚与分层检测时,应该同时分别进行闸门报警设置+分开显示,以避免当钢管中存在全壁厚的一定比例(1/2、1/4、1/8等)厚度的分层缺陷时,该类特殊厚度位置的分层缺陷所产生的多次反射底波因显示时基位置的特殊性而造成的测厚误报。

(4) 目前超声波相控阵探伤主要采用手动方式,解决了脉冲反射式探伤存在单一方向反射型检测的缺点;但如将超声波相控阵探伤应用于自动化探伤,可能还需解决超声波能量重复发射的保证能力、多方向超声波干扰、报警闸门位置与幅度的差异如何设置等问题。因此,引进自动化超声波探伤设备时,一定要先从理论(原理分析、参数计算、缺陷检出能力)上进行可行性认证。

2.2 自动涡流探伤设备

无缝钢管的自动涡流探伤,可以理解为能量损失型的当量比较式检测方式,只要无缝钢管中自然缺陷影响的涡流信号(阻抗参数)与样管上人工缺陷的类似,则可以有效检出,完全可以保证无缝钢管中危险缺陷(有一定深度的点状缺陷)不漏检。只是,目前无缝钢管企业普遍采用的穿过式线圈,其产生的涡流信号具有单一方向性,且钢管外径越大或壁厚越厚,导致受钢管上一些浅而窄的自然缺陷影响的涡流信号较小,从而造成漏检。至于涡流点探头或扁平式线圈,解决了涡流信号的单一方向性问题,但对壁厚较大的钢管,其内表面缺陷还是存在漏检的风险。

鉴于自动涡流探伤设备具有检测速度快、效率高的优势,可以在多频检测(低频检测内表面、高频检测外表面)、信号处理软件分析方面进行研究

优化, 以进一步提高探伤灵敏度。

2.3 自动漏磁探伤设备

无缝钢管的自动漏磁探伤, 也可以理解为能量损失型的当量比较式检测方式, 只要纵向、横向的磁化(线圈)能力足够大, 对钢管上不同方向的自然缺陷还是具有可靠的检出能力。但对壁厚大于 20 mm 的无缝钢管, 有必要在磁化(线圈)设备的能力或检测线圈的结构参数方面进行研究提高, 可通过以下方式: ①改变磁化铁芯的材质或加大线圈的结构尺寸; ②增加磁化线圈的匝数(同时线圈的冷却能力也要加强); ③提高磁化电源能力的额定值(极限值); ④优化检测线圈的结构, 以提高拾取漏磁场的的能力等。同时, 对信号处理分析软件进一步优化, 希望对无缝钢管内、外表面的缺陷信号能检出与准确分辨并区别显示报警。

2.4 数字化自动射线探伤设备

随着计算机和数字化图像处理技术的发展, 传统胶片式的射线检测可能会被数字化射线检测代替。当前数字化射线检测的灵敏度已经达到了一定的要求, 且具有可视性、直观性(便于缺陷定性)的自动化检测优势, 对形状规则而且单一(特别是长条型)的无缝钢管, 已具备一定的可成套应用数字化自动射线探伤(特殊的双壁双影法)的条件, 可对钢管中差异性很大的自然缺陷有效检出。但由于射线检测存在一定的方向性, 有必要通过多射线机头的设置, 以验证一定速度的自动化射线探伤可对“米”字型缺陷(不同方向、多个深度)或不同方向布置的金属丝型像质计(符合一定要求的灵敏度)进行有效的检出, 同时以解决无缝钢管全体积的检测覆盖范围。

当然, 数字化自动射线探伤设备在钢管领域的应用与推广还需解决以下问题: ①现场的安全防护与许可问题; ②钢管缺陷自动评级的软件问题; ③相应的钢管数字化自动射线探伤标准的制(修)订, 可通过 CSTM 中国材料与试验团体标准的方式加快标准的制(修)订进程; ④有一批会制定数字化自动射线检测工艺的现场探伤技术人员。

2.5 红外热成像无损检测技术

近期, 红外热成像无损检测技术已在个别钢管企业进行尝试, 其效果还有待验证。希望能成为一种有效的无缝钢管自动探伤方式。

3 结 语

对国内无缝钢管自动探伤设备的上述浅述, 并不是对其中某种自动探伤方法的全盘否定或全部肯定, 而是以理论与实践相结合的方式来比较多种探伤方法的优缺点, 以期减轻钢管行业自动探伤人员的压力(自动化探伤设备正常检测, 但出厂钢管仍存在个别特殊缺陷的漏检), 也可进一步理解 ASTM 美国材料与试验协会钢管产品标准中对自动涡流、超声波、漏磁 3 种探伤方式只作选择性要求, 以及其对 3 种方式作出的解释: 涡流探伤设备能够检测重大缺陷, 特别是短陡型缺陷; 超声波探伤设备探测不同取向的缺陷时, 应当采用不同的测试技术, 且不能检测短而深的缺陷; 采用漏磁探伤设备进行检测时, 应采用不同的测试技术来检测不同取向的缺陷。希望探伤设备研发设计生产企业能够尽早研发出一种自动化探伤设备, 完美地满足无缝钢管这种形状单一工件的不同自然缺陷的有效检出。

4 参考文献

- [1] 况雪军. 国内无缝钢管涡流及超声波自动探伤的现状及其发展[J]. 钢管, 2007, 36(5): 54-56.
- [2] 况雪军, 曾照仁, 罗莱兰. 涡流探伤用穿过式线圈槽宽的探讨[J]. 无损检测, 2003, 25(7): 376-377.
- [3] 况雪军, 罗莱兰. 用手动超声波探伤对钢套管的微裂纹检测[J]. 无损探伤, 2003, 27(6): 44-45.
- [4] 赵仁顺. ISO 和 ASTM 标准中无缝钢管探伤方法对比分析[J]. 钢管, 2014, 43(5): 75-82.
- [5] 吕育栋, 汪超, 曹华勇, 等. 壳牌新标准中超声波自动探伤探头的选取及布置[J]. 钢管, 2013, 42(5): 77-82.
- [6] 孙启峰, 康宜华, 孙燕华. 基于漏磁的管端自动探伤方法与装备[J]. 钢管, 2012, 41(4): 68-71.
- [7] 张黎, 伍剑波, 孙燕华, 等. 基于钢管旋转的高速漏磁探伤装备及其关键技术[J]. 钢管, 2011, 40(4): 56-59.
- [8] 孙磊, 康宜华, 孙燕华, 等. 基于永磁扰动探头阵列的钢管端部自动探伤方法与装备[J]. 钢管, 2010, 39(6): 60-64.
- [9] 李家伟. 无损检测手册[M]. 北京: 机械工业出版社, 2012.
- [10] 范弘. 金属材料的涡流检测[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 2008.

(收稿日期: 2019-04-15)