

ICS 19.100
J 04



中华人民共和国国家标准

GB/T 28704—2012

无损检测 磁致伸缩超声导波检测方法

Non-destructive testing—Test method for ultrasonic guided wave testing
based on magnetostrictive effects

2012-09-03 发布

2013-03-01 实施

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局 发布
中国国家标准化管理委员会

GB/T 28704—2012

前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准由全国无损检测标准化技术委员会(SAC/TC 56)提出并归口。

本标准起草单位:中国特种设备检测研究院、华中科技大学、上海泰司检测科技有限公司、北京康坦科技有限公司、河北省锅炉压力容器监督检验院、江西省锅炉压力容器检验检测研究院、河南省锅炉压力容器安全检测研究院、制造装备数字化国家工程研究中心、上海材料研究所、山东科捷工程检测有限公司、安徽华夏高科技开发有限责任公司。

本标准主要起草人:沈功田、武新军、徐江、刘德宇、景为科、赵培征、李光海、侯旭东、马建宇、兰清生、党林贵、吴占稳、孙鹏飞、金宇飞、梁玉梅、李寰。

无损检测 磁致伸缩超声导波检测方法

1 范围

本标准规定了用于快速发现构件中存在截面损失的磁致伸缩超声导波检测方法。

本标准适用于检测温度为 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 550\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、直径为 $10\text{ mm}\sim 1\,000\text{ mm}$ 、壁厚为 $0.5\text{ mm}\sim 80\text{ mm}$ 管状,直径为 $10\text{ mm}\sim 80\text{ mm}$ 棒状和直径为 $10\text{ mm}\sim 185\text{ mm}$ 束状等构件的表面和内部缺陷。如果合同各方同意,也可适用于上述构件的对接焊缝或其他构件的检测。

本标准未建立评价判据,具体的判据由合同各方协商确定。

本标准没有完全给出进行检测时的安全要求,使用本标准的各方有义务在检测前建立适当的安全和防护准则。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

GB/T 9445 无损检测 人员资格鉴定与认证(ISO 9712:2005, IDT)

GB/T 12604.1 无损检测 术语 超声检测(ISO 5577:2000, IDT)

GB/T 12604.6 无损检测 术语 涡流检测

GB/T 15822.1 无损检测 磁粉检测 第1部分:总则(ISO 9934-1:2001, IDT)

GB/T 19943 无损检测 金属材料 X 和伽玛射线照相检测 基本规则(ISO 5579:1998, IDT)

JB/T 4730.2 承压设备无损检测 第2部分:射线检测

JB/T 4730.3 承压设备无损检测 第3部分:超声检测

JB/T 4730.4 承压设备无损检测 第4部分:磁粉检测

3 术语和定义

GB/T 12604.1 和 GB/T 12604.6 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

磁致伸缩效应 magnetostrictive effect

磁致伸缩

铁磁性材料受外磁场作用时,其尺寸、形状发生变化的现象。

3.2

逆磁致伸缩效应 inverse magnetostrictive effect

逆磁致伸缩

铁磁性材料在受到(长度方向)轴向外力时,其内部磁场状态发生变化的现象。

3.3

超声导波 ultrasonic guided wave

受构件边界条件(如构件几何尺寸、受力状态等)约束的、能够较长距离传播的某些特定频率范围的超声波。

GB/T 28704—2012

3.4

模态 mode

导波在传播过程中的特定运动形式,在管、棒等中有纵向、扭转和弯曲三种模态:

- a) 纵向模态——以压缩伸长运动形式在构件中传播的导波模态;
- b) 扭转模态——以扭转运动形式在构件中传播的导波模态;
- c) 弯曲模态——以弯曲运动形式在构件中传播的导波模态。

3.5

截面损失 cross sectional area loss

被检构件缺陷处横截面减少的面积。

3.6

截面损失率 ratio of cross sectional area loss

被检材料或构件缺陷处横截面减少的面积与其公称横截面总面积的比值。

3.7

频散 dispersion

波速随频率而变化的现象。

3.8

频散方程 dispersive equation

根据特定边界条件、满足弹性动力学特解的方程。

3.9

频散曲线 dispersion curve

求解频散方程得到的波速与频率的关系曲线。一般横坐标表示波的频率、波长或周期,纵坐标表示群速度或相速度。

3.10

有效检测距离 effective testing length

在一定灵敏度条件下仪器可达到的最大检测距离。

3.11

磁致伸缩带 magnetostrictive film

具有较强磁致伸缩效应的材料制成的带材,如镍合金带、铁钴硬磁合金带、Terfenol-D 合金带等。

4 方法概要

4.1 概述

磁致伸缩超声导波检测方法,是利用磁致伸缩效应在构件中产生的超声导波,对构件实施检测的一种方法。

磁致伸缩超声导波检测方法分为直接法和间接法两种。

4.2 直接法

本方法利用材料自身的磁致伸缩效应在构件中直接激励和接收导波,只能适用于被检对象为铁磁性材料的检测,其检测原理如图 1 所示。这种方法的(磁致伸缩)传感器包括激励线圈、检测线圈和提供偏置磁场的磁化器三个部分。两种线圈为与被检铁磁性材料构件同轴的螺线管,用于实现交变磁场和应力波之间的能量与信号转换。偏置磁场沿轴线方向,其作用主要有两方面,一是提高磁能与声能的换能效率,二是选择导波模态,偏置磁场可以采用电磁或永磁方式加载。在进行检测时,首先向激励线圈通入大电流脉冲,产生交变磁场;激励线圈附近的铁磁材料由于磁致伸缩效应受到交变应力作用,从而

激励出超声波脉冲；超声脉冲沿被检构件轴线传播时，不断在构件内部发生反射、折射和模式转换，经过复杂的干涉与叠加，最终形成稳定的导波模式。当构件内部存在缺陷时，导波将在缺陷处被反射返回；当反射回来的应力波通过检测线圈时，由于逆磁致伸缩效应会引起通过检测线圈的磁通量发生变化，检测线圈将磁通量变化转换为电压信号；通过测量检测线圈的感应电动势就可以间接测量反射回来的超声导波信号的时间和幅度，从而获取缺陷的位置和大小等信息。

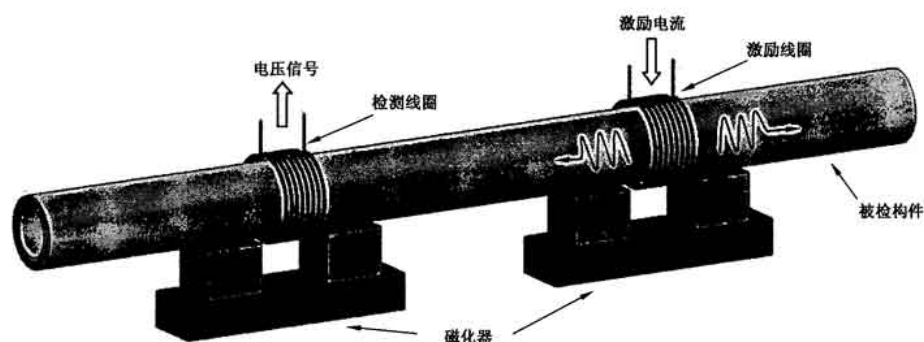


图 1 直接激励法磁致伸缩导波检测原理图

4.3 间接法

本方法基于磁致伸缩效应在磁致伸缩带上激励导波，通过干耦合或粘接耦合的方式将导波由磁致伸缩带传送到待测构件上，实现导波激励；并通过相同耦合的方式将导波从待测构件传回磁致伸缩带，基于逆磁致伸缩效应，实现导波接收。该方法既适用于铁磁性材料的检测，也适用于非铁磁性材料的检测，其检测原理如图 2 所示。这种方法的超声导波传感器包括线圈和磁致伸缩带两部分，磁致伸缩带在使用前，需要进行预磁化。检测时，磁致伸缩带与被检构件可采用固化胶紧密粘贴、也可用其他方式紧密耦合，实现声能传递。其检测缺陷的原理与 4.2 相同。

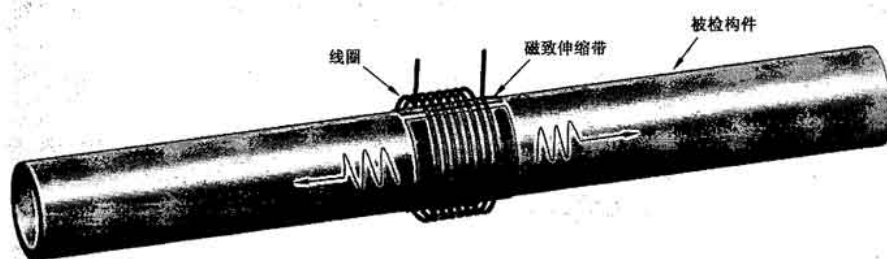


图 2 间接激励法磁致伸缩导波检测原理

5 安全警示

本章没有列出进行检测时所有的安全要求，使用本标准的用户应在检测前建立安全准则。

检测过程中的安全要求至少如下：

- 检测人员应遵守被检件现场的安全要求，根据检测地点的要求穿戴防护工作服和佩戴有关防护设备；
- 如有要求，使用的电子仪器应具有防爆功能；

GB/T 28704—2012

- c) 在线检测时,应注意被检件的温度状态,以免烫伤或冻伤;应避免安全阀过早或突然开启引起的危险后果,尤其是被检件内储存有毒或易燃、易爆等危害性介质时。

6 人员要求

按本标准实施检测的人员,应按 GB/T 9445 或合同各方同意的体系进行资格鉴定与认证,并由雇主或其代理对其进行职位专业培训和操作授权。

7 检测工艺规程

7.1 通用检测工艺规程

从事磁致伸缩超声导播检测的单位应按本标准的要求制定通用检测工艺规程,其内容至少应包括如下要素:

- a) 适用范围;
- b) 引用标准、法规;
- c) 检测人员资格;
- d) 检测仪器设备:耦合剂、传感器、传感器夹具、信号线、前置放大器、电缆线、仪器主机、检测数据采集和分析软件等;
- e) 被检件的信息:几何形状与尺寸、材质、设计与运行参数;
- f) 检测覆盖范围及传感器安装部位阵列确定;
- g) 被检件表面状态及传感器安装方式;
- h) 检测时机;
- i) 灵敏度测量、距离-波幅曲线绘制;
- j) 检测过程和数据分析解释;
- k) 检测结果的评定;
- l) 检测记录、报告和资料存档;
- m) 编制、审核和批准人员;
- n) 编制日期。

7.2 检测作业指导书或工艺卡

应按 9.1.3 执行。

8 检测设备

8.1 检测仪器

检测仪器应具有频散曲线计算、信号激励、数据采集、信号波形显示、分析与存储的功能,且至少满足以下要求:

- a) 根据被检件特征参数,能给出频散曲线;
- b) 激励信号的频率、幅值、周期数、重复频率可调;
- c) 数据采集频率不低于激励信号最高频率的 10 倍,应与信号激励具有同步功能;
- d) 检测信号应能实时存储,以备后续处理和分析,且应具有绘制和存储距离-波幅曲线的功能;
- e) 具有时基和距离显示两种方式,且可实现波形局部放大;

- f) 能够分析缺陷的位置和截面损失率当量,缺陷位置的最小分辨率应达到 10 mm,截面损失率的最小分辨率应达到 5%;
- g) 仪器应具有截面损失率报警功能,当信号超过设定阈值时,应进行报警,报警阈值应根据需要可调,至少可分别设置为 6%、9%和 12%。

8.2 传感器

每个传感器应给出被检构件材料、工作温度和直径的适用范围。

8.3 预磁化器

在间接激励法中,预磁化器的功能是将磁致伸缩带磁化,使其剩磁达到适当大小。

8.4 试件

8.4.1 校准试件

校准试件用于对检测设备进行灵敏度和各种功能的测试。校准试件应选用压力管道常用的无缝钢管制作,有 3%、6%和 9%截面损失率的横向环形切槽各一个,如图 3 所示。切槽的宽度在 0.5 mm~2 mm,深度方向的公差 ± 0.2 mm。校准试件的长度、厚度和切槽位置的要求如表 1 所示。

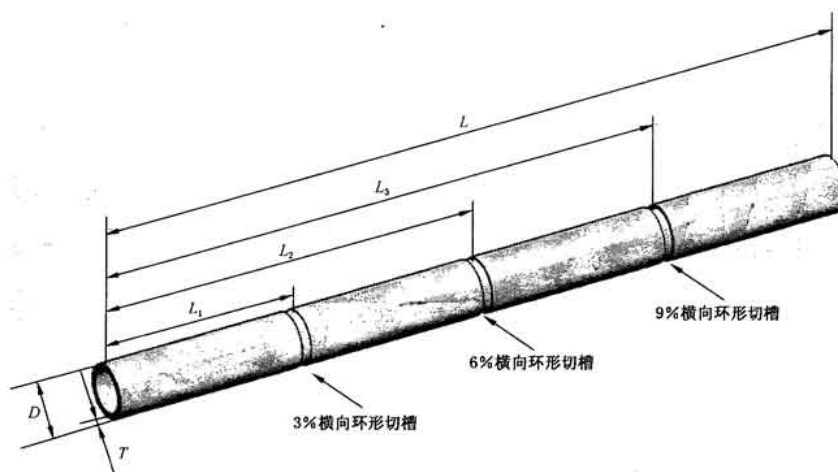


图 3 校准试件示意图

表 1 校准试件的要求

序号	外径 D/mm	厚度 T/mm	长度 L/m	横向环形切槽的位置/ m		
				L_1	L_2	L_3
1	$50 > D \geq 10$	$T \geq 2$	$L \geq 18$	7	12	17
2	$150 > D \geq 50$	$T \geq 4$	$L \geq 24$	9	16	23
3	$1\,000 \geq D \geq 150$	$T \geq 10$	$L \geq 34$	12	22	32

GB/T 28704—2012

8.4.2 对比试件

对比试件用于对被检测构件上缺陷截面损失率当量进行评定。对比试件应采用与被检测构件材料性能及几何形状相同或相近的材料制作,试件的长度至少为仪器可探测 9% 截面损失率人工缺陷距离的 1.2 倍,且不小于 12 m。

除合同有关各方另有约定之外,应按如下要求加工对比试件:

- a) 对于管状构件,在对比试件上至少 3 个部位外表面分别加工出多个直径与壁厚相同、深度为壁厚 40% 的锥孔;每处锥孔的数量按截面损失率的 9% 进行计算,锥孔在环向间距应均匀分布,深度公差 ± 0.2 mm;试件两端的锥孔距试件端部至少 1 m。
- b) 对于棒状构件,在对比试件上至少 3 个部位外表面分别加工出多个直径为 5 mm~10 mm、深度为 2 mm~5 mm 的锥孔;每处锥孔的数量按截面损失率的 9% 进行计算,锥孔在环向间距应均匀分布,深度公差 ± 0.2 mm;试件两端的锥孔距试件端部至少 1 m。
- c) 对于束扎的钢索或钢丝绳等构件,在对比试件上 3 个部位分别加工断口;每处断丝的数量按截面损失率的 9% 进行计算,同一处断丝应紧密相邻;试件两端的断口距试件端部至少 1 m,中间部位的断口在试件长度方向均匀分布,不同部位断口的环向应均匀分布。

8.5 非导体垫片

可采用不同数量已知厚度的非导体垫块来模拟不同厚度的覆盖层,也可直接在校准试件上喷涂实际涂层。推荐垫块厚度为 0.5 mm 的整数倍。

8.6 检测设备的维护和校准

应制定书面规程,对检测设备进行周期性维护和检查,以保证仪器功能。

在去现场进行检测之前,应在实验室内选择相应规格的校准试件对检测仪器进行校准,若检测结果与已知试件缺陷分布相符,则表明仪器正常。

在现场进行检测时,如怀疑设备的检测结果,应对设备进行功能检查和调整,并对每次维护检查的结果进行记录。

9 检测

9.1 检测前的准备

9.1.1 资料审查

资料审查应包括下列内容:

- a) 被检件制造文件资料:产品合格证、质量证明文件、竣工图等;
- b) 被检件运行记录资料:开停车情况、运行参数、工作介质、载荷变化情况以及运行中出现的异常情况;
- c) 检验资料:历次检验与检测报告;
- d) 其他资料:修理和改造的文件资料等。

9.1.2 现场勘察

应对被检件现场进行勘察,找出所有可能影响检测的因素,如支吊架、内部或外部附件、外保温层情况等。在检测时应设法尽可能避免这些因素的干扰。

9.1.3 检测作业指导书或工艺卡的编制

对于每个检测工程或每套被检设备,根据使用的仪器和现场实际情况,按照通用检测工艺规程编制磁致伸缩超声导波检测作业指导书或工艺卡,确定超声导波传感器安装的部位和表面条件。安装部位应避开支吊架、内部或外部附件的影响,同时对每个被检件进行测绘,对传感器的安装部位进行编号,画出被检件结构示意图。

9.2 传感器安装部位表面处理

采用直接激励法进行检测时,传感器安装表面应无液体或污垢等固体残留物以及可能影响检测的其他障碍物,可以保留 10 mm 厚度以下的涂层、防腐层或保温层。

采用间接激励法进行检测时,传感器安装表面应首先去除涂层、防腐层或保温层,并进行打磨处理使之露出被检构件本体材料,以便于安装磁致伸缩带。

9.3 距离-波幅曲线的绘制

应根据被检测构件的材料和规格,在实验室内选择相应符合 8.4.2 规定的对比试件绘制距离-波幅曲线。该曲线族由评定线和判废线组成,判废线由 9% 截面损失率的人工缺陷反射波幅直接绘制而成,评定线为判废线高度的一半,即减 6 dB。评定线及其以下区域为 I 区,评定线与判废线之间为 II 区,判废线及其以上区域为 III 区,如图 4 所示。

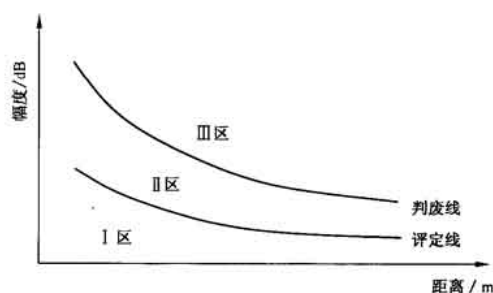


图 4 距离-波幅曲线示意图

9.4 传感器的安装

按照被检构件的规格选择合适的传感器,并按照仪器说明书的要求安装传感器。

9.5 检测仪器系统的调试

根据构件材料、尺寸对应的频散曲线,选取频散较小或非频散区域对应的频率(仪器提供的激励频率范围内)作为激励频率。

通过调节仪器的参数设置使仪器能够清晰显示被检构件上焊缝、接头或端部的反射波信号,并进行记录,同时应用这些信号及其距传感器的距离来测量导波传播的速度。

9.6 检测信号采集

将仪器检测显示灵敏度由测试距离-波幅曲线时的灵敏度提高 12 dB 进行检测,一旦发现缺陷反射信号,即降低 12 dB 并调出已存储好的距离-波幅曲线进行比对,凡处于 II 区和 III 区的信号需要进行信号记录,并测量出在被检件上的具体位置,在被检件示意图和实物上做出标识。

GB/T 28704—2012

检测中应确认相邻长度有效范围之间的重叠,确保不引起漏检,从而影响检测结果。

9.7 检测记录

检测记录的主要内容至少包括第 12 章列出的内容,检测记录和超声导波检测数据应按合同约定保存。

9.8 影响检测结果的因素

9.8.1 导波模式

由于涡流效应的存在,有可能在激励某一模式时,产生其他模式,此外导波在缺陷处会发生模式转换,这些模式的存在会影响检测结果。

9.8.2 激励频率

在选择激励频率范围内,激励频率越高,检测精度越高,有效检测距离越短;反之,则检测精度低,有效检测距离长。

9.8.3 激励能量

激励能量越大,有效检测距离越长;反之,有效检测距离越短。

9.8.4 磁化状态

对于直接激励法,偏置磁场的强弱直接影响检测信号大小;对于间接激励法,磁致伸缩带的剩磁大小直接影响检测信号大小。

9.8.5 被检件工况

埋地、覆盖层、内部流动介质、支撑物等构件外部状态和构件温度、承载状态、焊缝以及自身状况等因素均影响到有效检测距离,其中支撑物、焊缝等还易引起多次反射回波信号,增加信号分析难度;构件自身腐蚀越严重,有效检测距离越短。

9.8.6 检测盲区

检测盲区与激励信号的频率、周期数有关。激励频率越高,激励信号周期数越少,检测盲区越小;反之,则检测盲区越大。

构件与构件、支撑物与被检件等结合部位及附近区域也属检测盲区。

可通过移动传感器的安装位置消除某些检测盲区,对无法消除的检测盲区应采用其他无损检测方法进行检测。

9.8.7 传感器安装

检测过程中传感器与被检件的紧密程度会直接影响检测信号大小,且对间接法的影响更大。

检测过程中激励与接收传感器安装间距不合适会产生镜像回波,进而影响检测结果等。

10 结果解释和评价

磁致伸缩超声导波检测发现的缺陷信号按反射回波的信号幅度与已采用对比试件绘制的距离-波幅曲线进行比对分级,反射波幅在Ⅰ区的为Ⅱ级,在Ⅱ区的为Ⅱ级,在Ⅲ区的为Ⅲ级。

11 检测结果的验证

磁致伸缩超声导波检测给出的是缺陷当量,由于腐蚀缺陷的大小和形状与人工缺陷不同,且被检件的实际几何尺寸与对比试件间存在差异,因此检测结果显示的缺陷当量值与其真实缺陷会存在一定的差异,因此一旦发现Ⅱ级和Ⅲ级的信号,首先必须采用目视和小锤敲击的方法进行目视检测,用以分辨是位于外表面或内部的缺陷;对于外表面缺陷可采用深度尺直接测量缺陷的深度;对于内部缺陷,根据被检件的不同形状,分别采用如下方法进行检测验证:

- a) 对于管状构件,应首先采用超声波测厚仪测量该部位的剩余壁厚,必要时采用双晶直探头进行超声检测测量,以更精确的测量缺陷的深度,超声检测方法按 JB/T 4730.3 执行;
- b) 对于棒状构件,采用射线、超声或磁粉的检测方法,检测标准分别按 GB/T 19943 或 JB/T 4730.2、JB/T 4730.3、GB/T 15822.1 或 JB/T 4730.4 执行;
- c) 对于束状构件,采用射线或漏磁检测的方法,射线检测标准按 GB/T 19943 或 JB/T 4730.2 执行。

必要时,经用户同意,也可采用抽查解剖的方式进行验证。

12 检测报告

磁致伸缩超声导波检测报告至少应包括如下内容:

- 被检构件使用单位、编号;
- 规格、几何尺寸、工作环境及使用年限;
- 材料牌号、公称几何尺寸、涂层厚度、表面状态;
- 执行标准、参考标准;
- 检测仪器名称、型号、检测频率;
- 对比试件的材料、尺寸、缺陷的形状;
- 对比试件的距离-波幅曲线;
- 仪器检测状态参数的设置值;
- 被检构件及其缺陷位置示意图;
- 检测软件名称、检测设置文件名称及数据文件名称;
- 结论;
- 检测与审核人员资格、签字及日期。

附录 A 为推荐的报告格式。

GB/T 28704—2012

附 录 A
(资料性附录)
检测报告示例

磁致伸缩超声导波检测报告

使用单位					
仪器型号				设备精度	
执行标准				参考标准	
构件编号				构件规格	
表面状况		外涂覆层类别		构件材质	
内部介质		工作环境		使用年限	
基准位置		正方向			
检测频率			传感器规格		
检测软件名称			检测数据文件名		
仪器参数设置					
校准试件规格			校准试件材料		
校准结果					
对比试件示意图					
对比试件距离-波幅曲线					
被检件结构及检测结果示意图：					
编号	信号位置/m	信号幅值	信号分级	检测信号图形	
结论					
检测人员：			检测日期：		
编制：	年	月	日	审核：	年 月 日