

ICS 19.100  
J 04

受控



# 中华人民共和国国家标准

GB/T 28705—2012

## 无损检测 脉冲涡流检测方法

Non-destructive testing—Test method for pulsed eddy current testing

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  
中国国家标准化管理委员会 发布

## 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、爱德森(厦门)电子有限公司、江西省锅炉压力容器检验检测研究院、河北省锅炉压力容器监督检验院、南京市锅炉压力容器检验研究院、制造装备数字化国家工程研究中心、上海材料研究所、安徽华夏高科技开发有限责任公司、山东科捷工程检测有限公司。

本标准主要起草人：沈功田、武新军、林树青、石坤、林俊明、康宜华、黄琛、徐志远、周裕峰、胡智、安克健、王丽娜、业成、吴占稳、胡斌、柯海、金宇飞、李寰、梁玉梅。

## 无损检测 脉冲涡流检测方法

### 1 范围

本标准规定了在不拆除覆盖层的情况下,对大面积腐蚀等引起的壁厚减薄进行检测的脉冲涡流检测方法。

本标准适用于检测由碳钢、低合金钢等铁磁性材料制成的厚度为 3 mm~65 mm、覆盖层厚度为 0~200 mm、温度为-150 ℃~500 ℃的在用构件,以及直径不小于 50 mm 的管子或管件。

本标准不适用于点蚀、麻坑等局部引起的壁厚减薄和裂纹类缺陷的检测。

本标准未建立评价判据,具体的判据由检测方和用户双方协商确定。

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

GB/T 11344 无损检测 接触式超声脉冲回波法测厚方法

GB/T 12604.6 无损检测 术语 涡流检测

JB/T 4730.3 承压设备无损检测 第 3 部分:超声检测

### 3 术语和定义

GB/T 12604.6 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

#### 3.1

**覆盖层 coating**

以粘接、吸附、包裹、缠绕或镶嵌等形式覆盖于被检件表面的物质,如油漆、塑料、沥青、岩棉、泡沫、细丝金属网、水泥、碳(玻璃)纤维、海洋生物等。工业设备用的覆盖层一般由防腐层、绝热层和保护层等组成。

#### 3.2

**弯曲点 bending point**

在双对数坐标系中,脉冲涡流检测信号波形由直线段过渡到曲线段的转折点。

#### 3.3

**特征时间 characteristic time**

与弯曲点对应的的时间,表征涡流从被检件表面扩散至底部的时间,其大小正比于被检件的磁导率、电导率和厚度的平方。

### 4 方法概要

脉冲涡流检测方法的基本原理见图 1。通有单个矩形脉冲或方波电流的激励线圈发射出一次磁

场,当一次磁场变化时,将在被检件中感生出涡流,该涡流的衰减特性与被检件的磁导率、电导率、厚度等因素相关,采用接收元件(线圈、磁敏或磁阻元件)测量该涡流产生的二次磁场,即可获得被检件的检测信号,进而得到特征时间。选定被检件某一已知厚度区域的检测信号为参考信号,比较待测区域的检测信号与参考信号的特征时间,可获得待测区域与对比区域的厚度值变化。

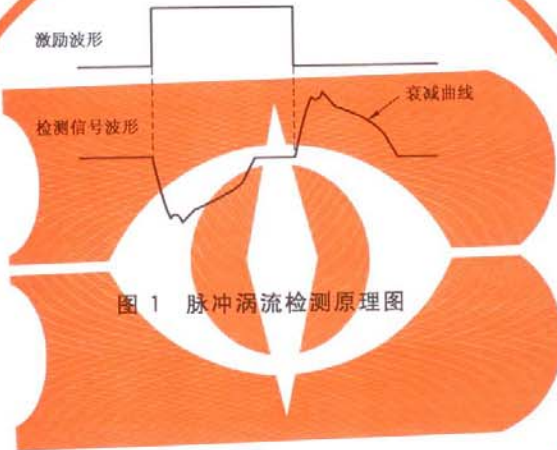
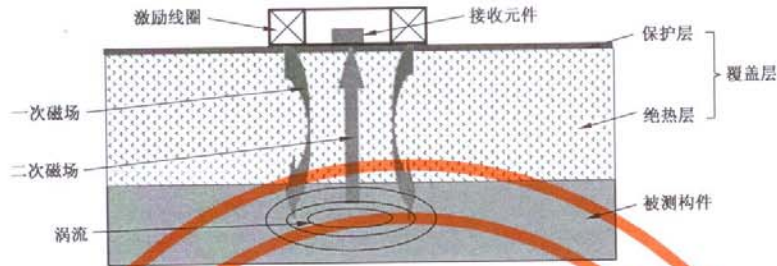


图 1 脉冲涡流检测原理图

## 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包括:

- a) 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;
- b) 如有要求,使用的电子仪器应具有防爆功能;
- 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 检测工艺流程

### 7.1 通用检测工艺流程

从事脉冲涡流检测应按本标准的要求制定通用检测工艺流程,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：传感器、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) 检测覆盖范围及检测部位阵列确定；
- g) 被检件表面状态；
- h) 检测时机；
- i) 灵敏度测量；
- 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 检测流程

推荐的 PEC 检测工艺流程图见附录 A。

## 7.3 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

检测仪器应具有脉冲涡流信号激励、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) 激励信号的频率可调，下降沿时间不大于 3 ms；
- b) 数据采集硬件的位数不能低于 16 位，应具有与信号激励同步功能。对于选定的探头，在有效检测范围内设定参考值时，其检测信号曲线有弯曲点；
- c) 应具有双对数显示功能，同时显示参考信号和检测信号。应具有波形局部放大功能；
- d) 应能以百分比的形式给出被检件的相对壁厚值；
- e) 应能连续存储 100 个以上检测点的相对壁厚值及对应检测信号波形的原始数据。

### 8.2 检测探头

8.2.1 应给出每个探头适用被检件的材料、壁厚、最小直径、覆盖层材质和厚度等性能参数。

8.2.2 探头上宜设置检测和过热指示。

8.2.3 在保证整个系统功能、灵敏度和精度的情况下，可用延长电缆连接探头和仪器。

### 8.3 试件

#### 8.3.1 校准试件

为验证仪器和探头检测性能的可靠性及其系统误差，至少制作 1 个带有不同厚度阶梯的管道试件和 2 个带有不同厚度阶梯的平板试件。应在 3 个试件上分别加工出 3.0 mm、2.7 mm、2.4 mm、

1.8 mm、1.2 mm、65 mm、58.5 mm、52 mm、39 mm、26 mm、50 mm、45 mm、40 mm、35 mm、30 mm、25 mm、20 mm、15 mm、10 mm 的台阶。推荐的尺寸见图 2。其中管道试件和平板试件 1 用于校准仪器灵敏度,平板试件 2 用于测试系统的在其量程范围内的性能参数。

单位为毫米

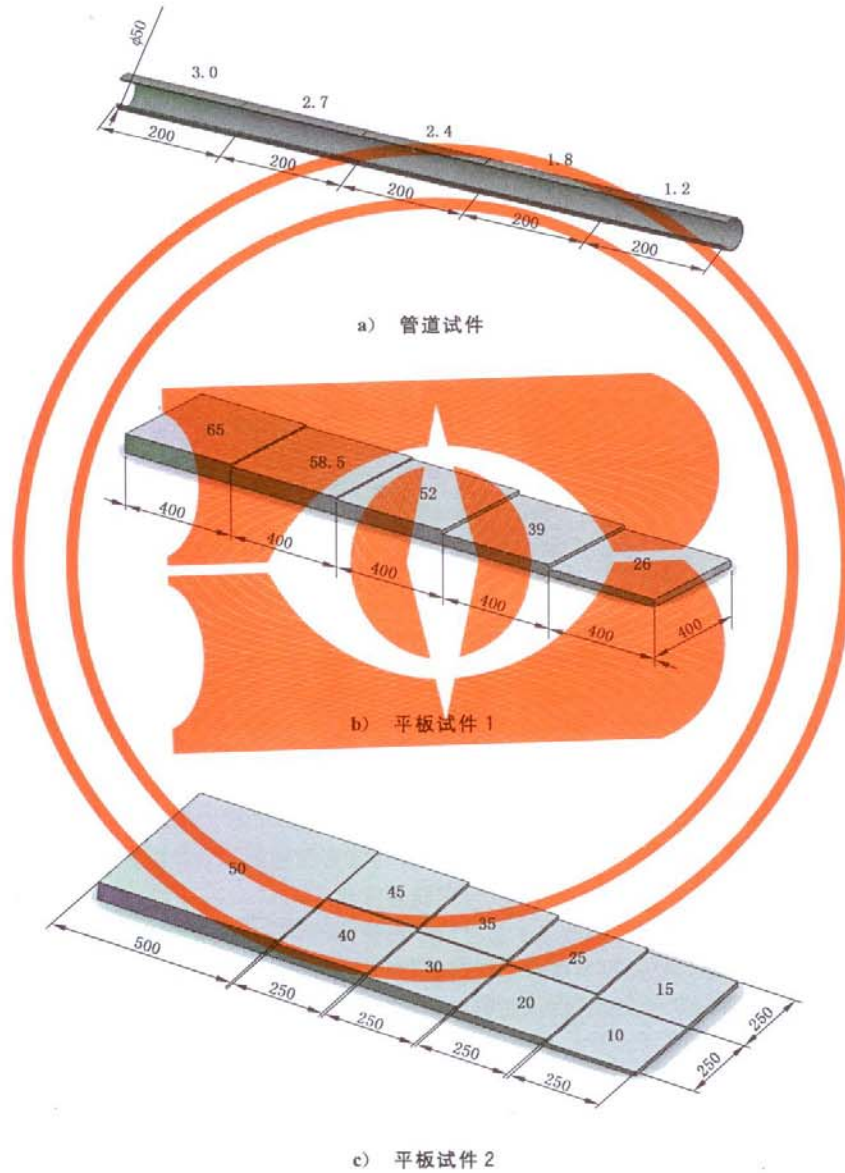


图 2 校准试件

### 8.3.2 非导体垫块

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 5 mm 的整数倍。

### 8.3.3 金属薄板

可采用已知厚度的铝、不锈钢或镀锌铁薄板来模拟保护层。推荐金属薄板的厚度不大于 0.8 mm。

### 8.4 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样对检测仪器进行校准,若检测结果与已知试件厚度分布相符,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 检验前的准备

#### 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 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脉冲涡流检测作业指导书或工艺卡,确定脉冲涡流检测的部位和表面条件,同时对被检件进行测绘,对检测部位进行编号,画出被检件结构示意图。检测部位应避免内部或外部金属附件。

### 9.2 检测表面条件要求

被检件表面应无大面积疏松的锈蚀层、焊疤及其他金属连接结构等。同时,被检件材质一致,并无较大的振动。

覆盖层应连续且厚度均匀。当由于覆盖层的原因不能保证检测的灵敏度和精度时,应去除部分或全部覆盖层。对于带有金属保护层的被检件,应避免在有破损的保护层上进行检测。对于选定好的参考点,当检测点覆盖层的厚度变化大于 20% 时,应重新设置参考点。对于含有金属网结构的覆盖层,不规则的金属网布置会影响检测的结果。

### 9.3 选择参考区域

#### 9.3.1 参考区域的选择原则

9.3.1.1 选择已知壁厚区域或可进行超声波测量的区域;对于需要进行超声波测量的参考区域,应局

部去除覆盖层和涂层,根据 GB/T 11344 进行超声波测厚,对测量的结果作综合分析后可作为参考区域的壁厚值。

9.3.1.2 应尽量选择检测信号弯曲点明显的区域设为参考区域。

9.3.1.3 已存有的检测数据中有和被检件具有相同材质、相同覆盖层材料及厚度、相同表面条件、相同工况以及使用相同探头等情况时,也可采用已知壁厚的数据作为参考值。

### 9.3.2 调整参考区域

当检测区域与参考区域之间存在较大的物理特性差异(如被检件材质不一致,公称壁厚偏差大,曲率变化较大,温差超过 50 ℃,覆盖层的种类和结构发生较大的变化,覆盖层的厚度变化大于 50%,覆盖层内金属网的布置不规则以及被检件周围的环境存在很大的电磁特性差异等情况)时,应重新选定参考区域。

### 9.3.3 记录参考区域

参考区域的具体位置、选择原则、实际壁厚等信息应详细记录。

## 9.4 检测实施

### 9.4.1 被检件区域编号

在检测之前一般按适当的网格模式对即将进行检测的部位进行编号,分别进行轴向和周向编号,并应详细记录,确保测量结果与具体检测区域一一对应。检测区域编号示例见图 3。

其他设备可参照容器或管道模式进行编号。

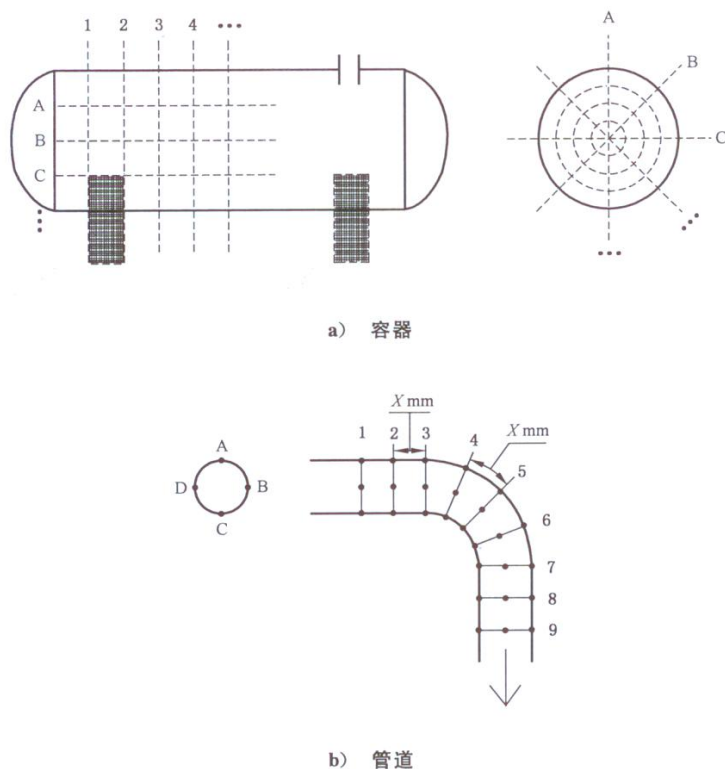


图 3 检测区域编号示例图



#### 9.4.2 检测

按照网格轴向或周向顺序对各区域进行检测。每个检测区域应重复检测 3 次,测量误差保持在  $\pm 5\%$  之内方可记录数据,最后结果取平均值。检测过程中,如果发现检测区域的物理特征和参考区域相比发生了较大的变化时要详细记录。当测量数据不稳定而出现较大范围的浮动或随机变化时,可放弃该区域的检测或改变检测区域位置。

检测时要确保探头发射磁场垂直于被检件表面,并保持探头稳定防止移动或振动。

#### 9.5 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,检测记录和脉冲涡流检测数据应按合同约定保存。

#### 9.6 影响检测结果的因素

##### 9.6.1 覆盖层

不同种类、结构和厚度的覆盖层都会影响检测的灵敏度和精度。覆盖层越单一检测效果越好。带有非铁磁性材料如铝、不锈钢的保护层比带有铁磁性的保护层检测效果好。对于带有铁磁性保护层的覆盖层,采取外加磁化方式将保护层磁化到饱和,则检测效果更好。

##### 9.6.2 被检件

被检件材质越均匀检测效果越好。  
被检件过小、过薄或过厚、曲率过大、内部不连续都会使检测效果变差或者无法进行检测。  
被检件温度会影响被检件的电磁特性,进而影响检测结果。  
检测时被检件振动也会造成检测结果不准确。

##### 9.6.3 探头

检测时探头移动会造成检测结果不准确。  
检测过程中应确保探头与被测区域平行或者对正相切,否则会影响检测结果。  
磁场探测区域与探头尺寸相对应,大的磁场探测区域会降低检测精度,因而在保证检测灵敏度、精度和信号质量的情况下,尽可能选择小尺寸的探头。

检测时在探头附近两倍提高高度范围内不应有其他电磁导体或电磁场,否则可能对检测结果有影响。

##### 9.6.4 参考区域

当检测区域与参考区域之间存在较大的物理特性差异时,如果没有重新设置参考区域,检测结果往往会有一定的偏差。

#### 10 结果解释和评价

检测完成后,应以列表的形式逐点给出检测结果,必要时绘制出被检件剩余壁厚示意图。

当与参考区域相比,检测区域存在较大的物理特性差异时,应对检测数据进行适当的修正或补偿,再对修正补偿后的结果进行重新评价。

## 11 检测结果的验证

脉冲涡流检测给出的是探头磁场覆盖区域下的剩余金属综合壁厚当量,由于腐蚀缺陷的大小和形状与人工缺陷不同,且被检件的实际部位与对比区域存在差异,因此检测结果显示的当量值与其真实情况会存在一定的差异,因此一旦发现10%以上壁厚减薄信号,首先应拆除覆盖层,然后采用如下方法进行验证:

- a) 采用目视和小锤敲击的方法进行检测,用以分辨是位于外表面或内表面的腐蚀;
  - b) 用超声波测厚仪测量该部位的剩余壁厚,超声测厚按 GB/T 11344 执行;
  - c) 对于外表面缺陷可采用深度尺直接测量缺陷的深度;对于内表面缺陷,应进行超声检测,以更精确的测量腐蚀坑的深度,检测标准按 JB/T 4730.3 执行;
  - d) 采用射线、漏磁等无损检测方法进行验证检测。
- 必要时,经用户同意,也可采用抽查解剖的方式进行验证。

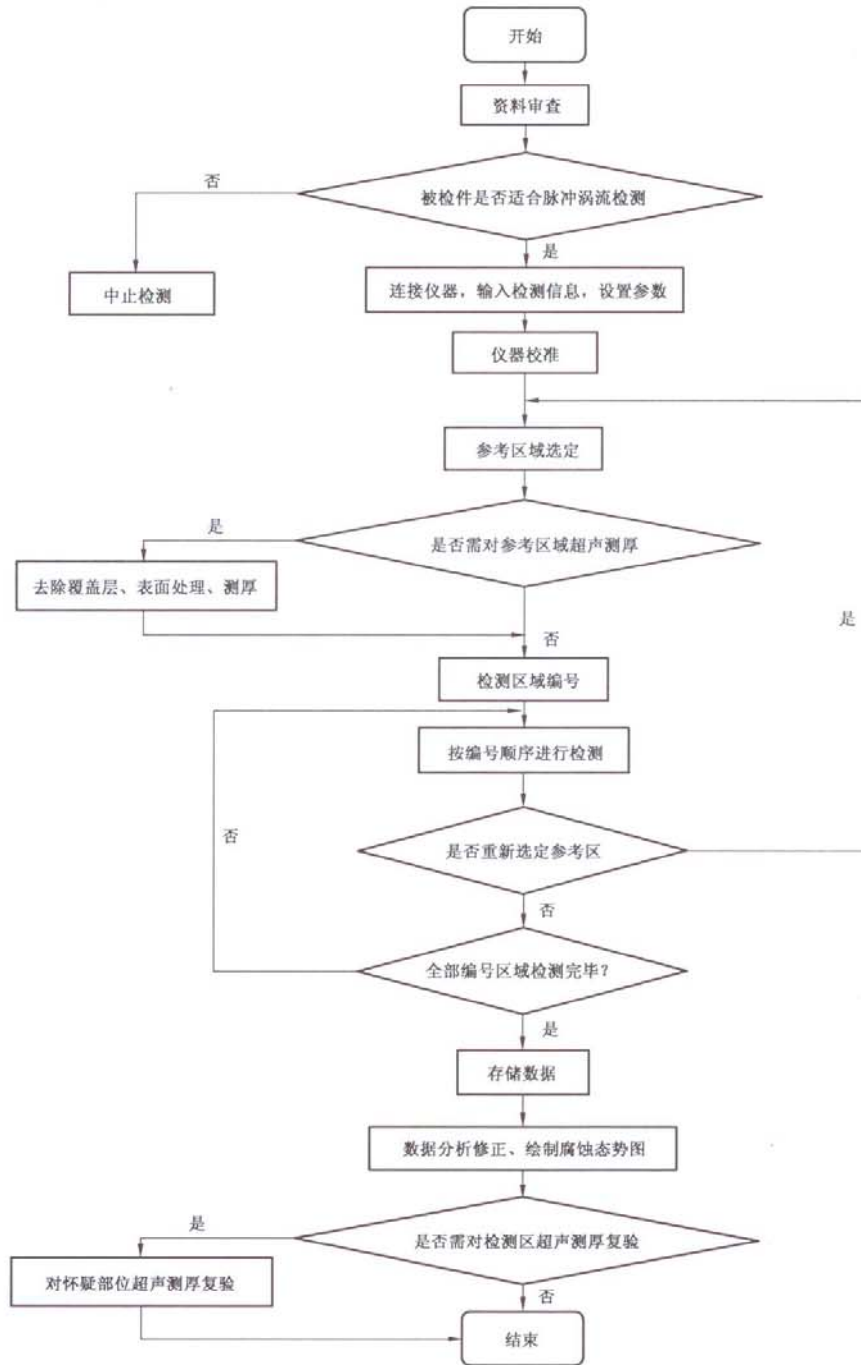
## 12 检测报告

检测报告的内容应根据检测要求制订,至少应包括以下要素:

- 检测机构名称;
- 被检件标识;
- 被检件材质;
- 被检件规格;
- 覆盖层类型、结构和厚度;
- 表面状态;
- 参考区域标注;
- 检测部位示意图;
- 验收准则;
- 校准试件;
- 检测仪器;
- 检测探头;
- 检测参数设置;
- 检测结果;
- 超出验收标准部位的标注;
- 检测结论;
- 检测与审核人员资格、签字及日期。

附录 B 为推荐的报告格式。

附录 A  
 (资料性附录)  
 推荐的脉冲涡流(PEC)检测流程图



附录 B  
(资料性附录)  
检测报告示例

脉冲涡流检测报告

检测单位			被检件编号	
被检件材质		被检件类型	<input type="checkbox"/> 平板类 <input type="checkbox"/> 管道类 <input type="checkbox"/> 管件类	
被检件规格		几何尺寸		使用年限
覆盖层种类		覆盖层结构		覆盖层厚度
表面状态			校准试块材料	
检测仪器			校准试块尺寸	
执行标准				
参考区域				
检测内容				
用图标示检测被检件、检测部位、检测条件(探头放置等)				
检测结果				
给出检测结果列表和剩余壁厚示意图,并对超出验收标准的不可接受的部位给予标识				
检测人员			检测日期	
编制	年 月 日		审核	年 月 日