

中华人民共和国能源行业标准

NB/T 47013.13—2015

承压设备无损检测 第 13 部分：脉冲涡流检测

Nondestructive testing of pressure equipments—
Part 13: Pulsed eddy current testing

2015-04-02 发布

2015-09-01 实施

国 家 能 源 局 发 布

目 次

前言456

1 范围.....457

2 规范性引用文件457

3 术语和定义457

4 一般要求458

5 检测程序.....461

6 检测结果评定与处理463

7 检测记录和报告463

附录 A（资料性附录） 推荐的检测点标定示例图.....464

附录 B（资料性附录） 推荐的部分检测结果修正关系465

前 言

本标准 NB/T 47013《承压设备无损检测》分为以下 13 个部分：

- 第 1 部分：通用要求；
- 第 2 部分：射线检测；
- 第 3 部分：超声检测；
- 第 4 部分：磁粉检测；
- 第 5 部分：渗透检测；
- 第 6 部分：涡流检测；
- 第 7 部分：目视检测；
- 第 8 部分：泄漏检测；
- 第 9 部分：声发射检测；
- 第 10 部分：衍射时差法超声检测；
- 第 11 部分：X 射线数字成像检测；
- 第 12 部分：漏磁检测；
- 第 13 部分：脉冲涡流检测。

本部分为 NB/T 47013 的第 13 部分：脉冲涡流检测。

本部分按 GB/T 1.1—2009《标准化工作导则 第 1 部分：标准的结构和编写》给出的规则起草。

请注意本部分的某些内容有可能涉及专利，本部分的发布机构不应承担识别这些专利的责任。

本部分由全国锅炉压力容器标准化技术委员会（SAC/TC 262）提出并归口。

本部分起草单位：中国特种设备检测研究院、华中科技大学、合肥通用机械研究院、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、南京市锅炉压力容器检验研究院、广东省特种设备检测院、山东省特种设备检验研究院淄博分院。

本部分主要起草人：石坤、沈功田、武新军、林树青、王笑梅、范智勇、关卫和、林俊明、张路根、业成、陈玉宝、刘守仪、刘再斌。

本部分为首次制定。

承压设备无损检测

第 13 部分：脉冲涡流检测

1 范围

1.1 NB/T 47013 的本部分规定了在不拆除覆盖层的情况下对在用承压设备用碳钢、低合金钢等铁磁性材料由于腐蚀、冲蚀或机械损伤造成的均匀壁厚减薄的检测方法以及评价准则。

1.2 本部分适用于同时具备下列条件的带有覆盖层的承压设备本体母材壁厚减薄的检测：

- a) 金属保护层厚度不大于 1mm；
- b) 对于不锈钢或铝保护层，覆盖层厚度不大于 200mm；对于铁保护层，覆盖层厚度不大于 100mm；
- c) 母材厚度范围为 3mm ~ 70mm；
- d) 管子或管件直径不小于 50mm；
- e) 母材温度范围为-196℃ ~ 500℃。

1.3 对于不带覆盖层在用承压设备的检测，可参照本部分使用。

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 12604.6	无损检测 术语 涡流检测
GB/T 28705—2012	无损检测 脉冲涡流检测方法
NB/T 47013.1	承压设备无损检测 第 1 部分：通用要求
NB/T 47013.3	承压设备无损检测 第 3 部分：超声检测

3 术语和定义

NB/T 47013.1、GB/T 28705、GB/T 12604.6 界定的以及下列术语和定义适用于本部分。

3.1

脉冲涡流 **pulsed eddy current**

基于脉冲磁场激励，在钢体内感应出涡流的现象。

3.2

平行磁场 **parallel magnetic field**

激励磁场轴心线与设备表面切面平行的磁场。

3.3

垂直磁场 **vertical magnetic field**

激励磁场轴心线与设备表面切面垂直的磁场。

3.4

聚焦模式 **focused mode**

通过线圈组合，减小激励磁场在被检工件上感应面积的一种激发方式。

4 一般要求

4.1 检测人员

从事脉冲涡流检测的人员应满足 NB/T 47013.1 的有关规定，取得相应资格等级证书，同时具备电磁学的基础知识，方可从事相应资格等级规定的检测工作。

4.2 检测设备和器材

4.2.1 概述

检测设备一般包括仪器主机、探头及前放、电池、电缆线等；辅助器材一般包括校准试件、非导体垫块、金属薄板等。

4.2.2 检测仪器

检测仪器应具有脉冲涡流信号激励、数据采集、数据处理、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 3ms；
- 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。具有波形局部放大功能；
- d) 应能以百分比的形式给出被检工件的相对壁厚值；
- 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；
- f) 可在 $-5^{\circ}\text{C} \sim 40^{\circ}\text{C}$ 的环境中使用，具有现场防尘、防振等性能。

4.2.3 检测探头：

- a) 应给出每个探头适用被检工件的材料、壁厚、最小直径、覆盖层材质和厚度、保护层材质和厚度等性能参数；
- b) 探头上宜设置检测和过热指示；
- c) 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主机；
- d) 按线圈放置方式可分为扁平式（垂直磁场）和竖排式（平行磁场）两种；按激发方式可分为聚焦和非聚焦两种。

4.2.4 电池

电池的连续供电时间应不少于 4h。

4.2.5 检测系统性能

4.2.5.1 灵敏度

对于选定的探头，在有效检测范围内设定参考值时，应能够检出被检工件 10% 的壁厚变化。

4.2.5.2 信号显示

应能够显示检测信号的衰减曲线、幅值和特征时间。

4.2.5.3 信号分析

能对信号的幅值、弯曲点、提离、衰减斜率、信噪比以及离散性进行分析，并可将当前信号与其他检测信号（包括参考信号）进行对比分析，给出结果。

4.2.6 试件

4.2.6.1 校准试件

为核查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 3.0mm、2.7mm、2.4mm、1.8mm、1.2mm；70mm、63mm、56mm、42mm、28mm；50mm、45mm、40mm、35mm、30mm、25mm、20mm、15mm、10mm 的台阶。推荐的尺寸见图 1。其中管道试件和平板试件 1 用于核查仪器灵敏度，平板试件 2 用于测试系统在其量程范围内的性能参数。

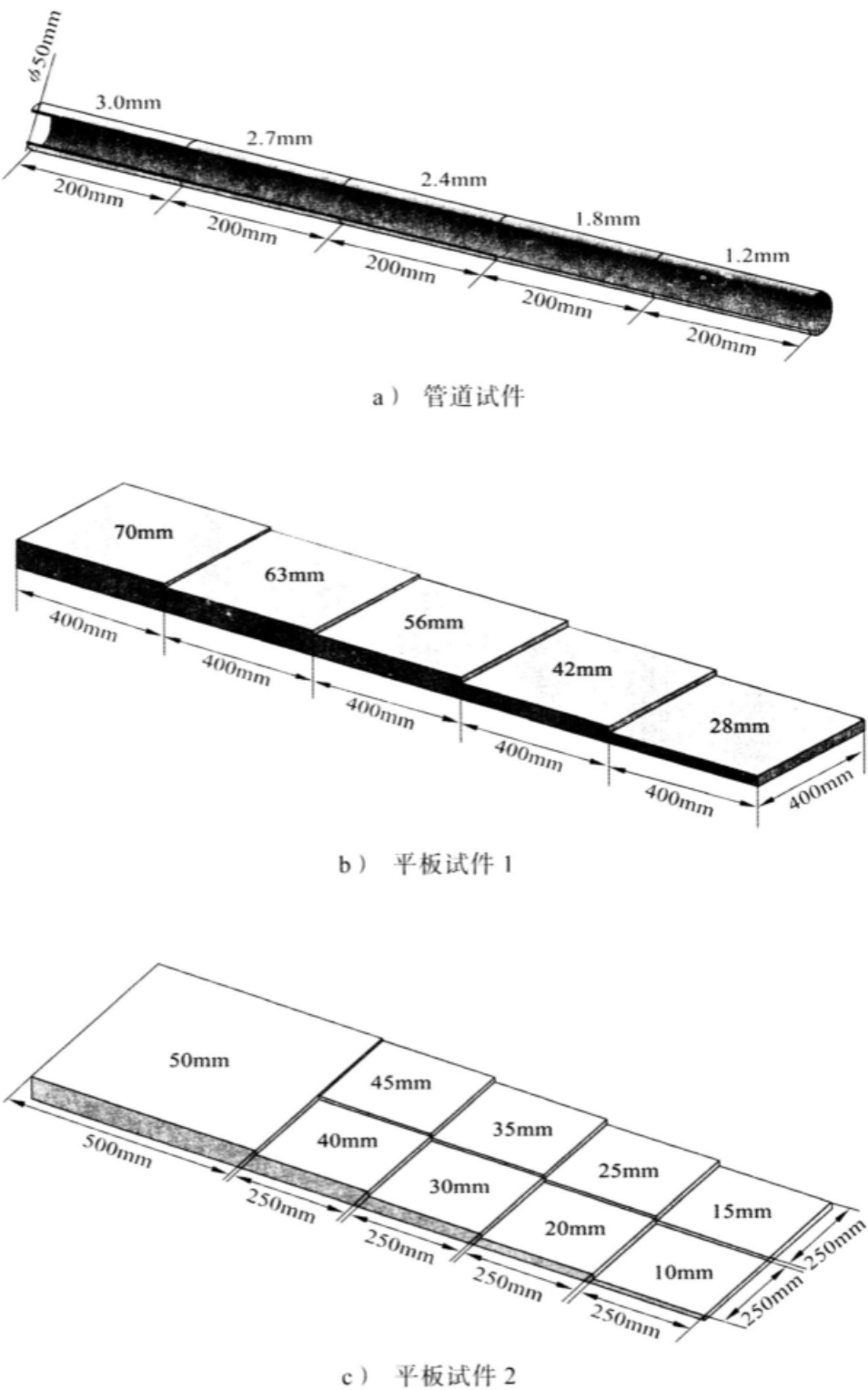


图 1 校准试件

4.2.6.2 非导体垫块

可采用不同数量并已知厚度的非导体垫块来模拟不同厚度的覆盖层，推荐垫块厚度为 5mm 的整数倍。

4.2.6.3 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 0.8mm。

4.2.7 检测设备的维护和校准

4.2.7.1 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。

4.2.7.2 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。

4.2.7.3 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。

4.3 检测工艺文件

4.3.1 检测工艺文件包括工艺规程和操作指导书。

4.3.2 工艺规程除满足 NB/T 47013.1 中的要求外，至少还应包括：

- a) 被检产品环境调查要求；
- b) 被检产品基本信息和运行状况；
- c) 系统核查的要求；
- d) 参考点选择和实测要求；
- e) 检测原始数据记录要求；
- f) 数据分析要求；
- g) 检测结果的处理规定。

4.3.3 工艺规程还应规定 4.3.3.1 所列相关因素的具体范围或要求；如相关因素的变化超出规定时，应重新编制或修订工艺规程。

4.3.3.1 工艺规程涉及的相关因素：

- a) 产品范围（工件形状、规格、材质、壁厚、覆盖层等）；
- b) 依据的规范、标准；
- c) 检测设备和器材以及校准、核查、运行核查或检查的要求；
- d) 检测工艺（探头配置、检测方式等）；
- e) 检测前的表面准备要求；
- f) 参考区域；
- g) 检测数据的分析和解释。

4.3.3.2 主要相关因素说明

4.3.3.2.1 覆盖层

- a) 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；
- b) 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；
- c) 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。

4.3.3.2.2 被检工件：

- a) 被检工件的材料均匀性越好则检测偏差越小；
- b) 被检工件过小、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；
- c) 被检工件温度会影响其电磁特性，进而影响检测结果；
- d) 检测时被检工件振动也会造成检测结果不准确。

4.3.3.2.3 探头：

- a) 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；
- b) 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；
- c) 检测时在探头附近两倍提离距离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。

4.3.3.2.4 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或工况条件差异时，检测结果往往会有一定的偏差。

4.3.4 应根据工艺规程的内容以及被检工件的检测要求编制操作指导书，其内容除满足 NB/T 47013.1 中的要求外，至少还应包括：

- a) 检测对象：设计与运行参数、覆盖层类型与厚度、金属外表面温度、环境情况以及设备振动、温度波动情况等；
- b) 检测设备和器材：探头、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以及校准试件、非导体垫块、金属薄板等；
- c) 校准试件；
- d) 系统核查；
- e) 激励磁场类型；
- f) 参考点选择和实测；
- g) 检测原始数据记录的规定；
- h) 检测结果判定。

4.3.5 操作指导书在首次应用时要进行验证，验证的方式可以采用对比试块、模拟试块或实际检测的对象。

4.4 安全要求

本部分没有完全列出进行检测时所有的安全要求，使用本部分的用户有义务在检测前建立适当的安全和健康准则。检测过程中的基本安全要求如下：

- a) 检测人员应遵守现场的安全要求，根据要求穿戴防护工作服和佩带有关防护设备；
- b) 在线检测时，应注意被检工件的温度状态，避免人员及探头、电缆被烫伤或冻伤。

5 检测程序

5.1 检测前的准备

5.1.1 资料审查

资料审查应包括下列内容：

- a) 被检工件制造文件资料：产品合格证、质量证明文件、竣工图等；
- b) 被检工件运行记录资料：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。

5.1.2 现场勘察

应对被检工件现场进行勘察，找出所有可能影响检测的因素，如支吊架、内部或外部附件、设备振动、温度波动、覆盖层变化及电磁干扰等情况。在检测时应设法尽可能避免这些因素的干扰。

5.1.3 被检工件条件

被检工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，还应满足以下条件：

- a) 设备材质电磁特性基本一致；
- b) 相邻部位的温差不宜过大；
- c) 无较大的振动；
- d) 探头背侧两倍提离距离范围内（且不小于 200mm）应无其他金属物体。

5.1.4 覆盖层条件

覆盖层应连续、厚度均匀、没有污染。当由于覆盖层的原因不能保证检测的灵敏度时，应去除部分或全部覆盖层。

5.2 探头选择及参数设置

根据被检工件情况，可利用校准试件预选探头及对检测参数预设置。检验前把预选用的探头放置在待检工件上，通过调整设置进行随机的检测，以获得满意的检测灵敏度和衰减信号。必要时，为了获得满意的检测效果，需要去除部分覆盖层。

5.3 选择参考点

5.3.1 在设备本体上选定

参考点选择的原则应满足如下几点：

- a) 选择已知壁厚点或可进行超声波测量；
- b) 应选择最佳信号显示的检测点设为参考点；
- c) 壁厚均匀、无腐蚀，覆盖层厚度适中，保护层完整、无形变；
- d) 弯头可单独标定，并在侧面选定参考点。

对于需要进行超声波测量的参考点，应局部去除覆盖层，根据 NB/T 47013.3 进行超声波测厚，对测量的结果做综合分析后可作为参考点的壁厚值。

5.3.2 选用已知数据

已存有的检测数据中有和被检工件具有相同材质、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。

5.3.3 调整参考点

当检测点与参考点之间存在较大的物理特性或工况条件差异（如材质不一致，公称壁厚偏差大，曲率变化较大，温差变化较大，覆盖层的种类和结构有变化，覆盖层的厚度变化较大，覆盖

层内金属网的布置不规则或者工件周围的环境存在很大的电磁特性差异等情况)时,可重新选定参考点或参考附录 B 对部分检测结果进行修正。

5.4 检测

5.4.1 检测点标定

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标定,对轴向和周向分别编号,并应详细记录,确保测量结果与具体检测点一一对应。检测点标定示例如附录 A,其他设备可参照容器或管道模式进行标定。

5.4.2 检测

5.4.2.1 按照网格轴向或周向顺序对各点进行检测。每个检测点应重复检测 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,如果发现检测点的物理特性和参考点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,可放弃这一点的检测或调整检测点位置。

5.4.2.2 检测时应使探头发射磁场垂直或平行于工件表面切面,检测中防止移动或振动。对不同的检测点,应使探头与被检设备的相对位置保持稳定。

5.4.2.3 全部检测点结束后,对数据进行存储。必要时,根据检测结果绘制工件腐蚀态势图。

5.4.3 检测流程

按 GB/T 28705—2012 附录 A 执行。

6 检测结果评定与处理

6.1 检测完成后,检测人员应对检测结果及绘制的工件腐蚀态势图认真分析,并与用户协商确定被检工件需要进一步验证的范围。

6.2 当需要对检测结果进行验证时,应至少去除整个探头面积的覆盖层,采用超声波测厚方法按照 NB/T 47013.3 的要求进行验证,并进行均匀多点测量。

7 检测记录和报告

7.1 应按照现场操作的实际情况详细记录检测过程的有关信息和数据。脉冲涡流检测记录除符合 NB/T 47013.1 的规定外,还至少应包括下列内容:

- a) 检测对象:设计与运行参数、覆盖层类型和厚度、金属外表面温度、环境情况以及设备振动、温度波动情况等;
- b) 检测设备和器材:探头型号规格、激励磁场类型(垂直场、平行场);
- c) 参考点位置、特征和实测厚度值;
- d) 用草图、标记或照相等方式描述并定位超出验收标准的不可接受信号。

7.2 应依据检测记录出具检测报告。脉冲涡流检测报告除符合 NB/T 47013.1 的规定外,还至少应包括下列内容:

- a) 设备使用单位或委托单位;
- b) 检测单位;
- c) 工艺规程版次、操作指导书编号;
- d) 报告签发日期。

附录 A
(资料性附录)
推荐的检测点标定示例图

容器

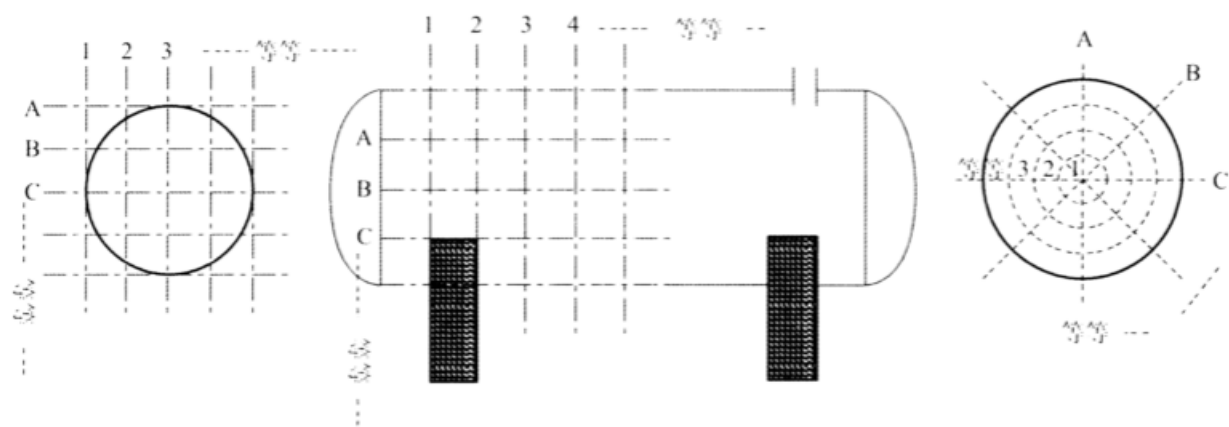


图 A.1 检测点标定示例图一

管道

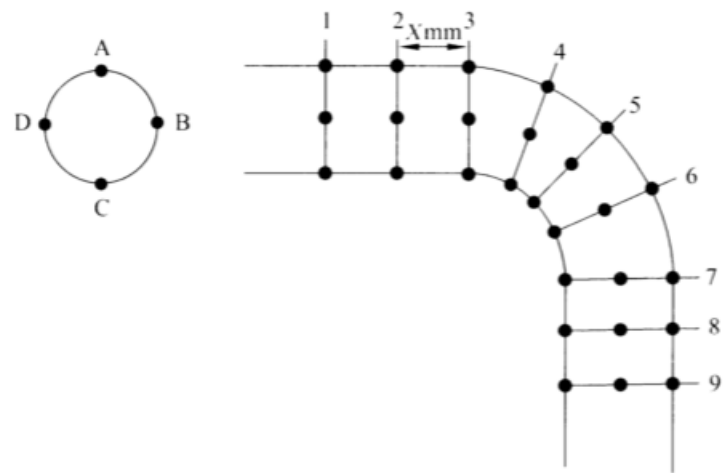


图 A.2 检测点标定示例图二

附录 B
(资料性附录)
推荐的部分检测结果修正关系

当和参考点相比，检测点存在物理特性或工况条件差异时，可参考表 B.1 以及图 B.1 ~ B.4 对部分检测结果进行修正。

表 B.1 保护层变化修正系数

保护层种类	垂直场	平行场
无保护层	—	—
不锈钢保护层	—	—
铝保护层	1.01 ~ 1.05	1.33 ~ 1.37
铁保护层	1.07 ~ 1.11	0.93 ~ 0.97

注：以上参数为相对于无保护层的对比关系系数。

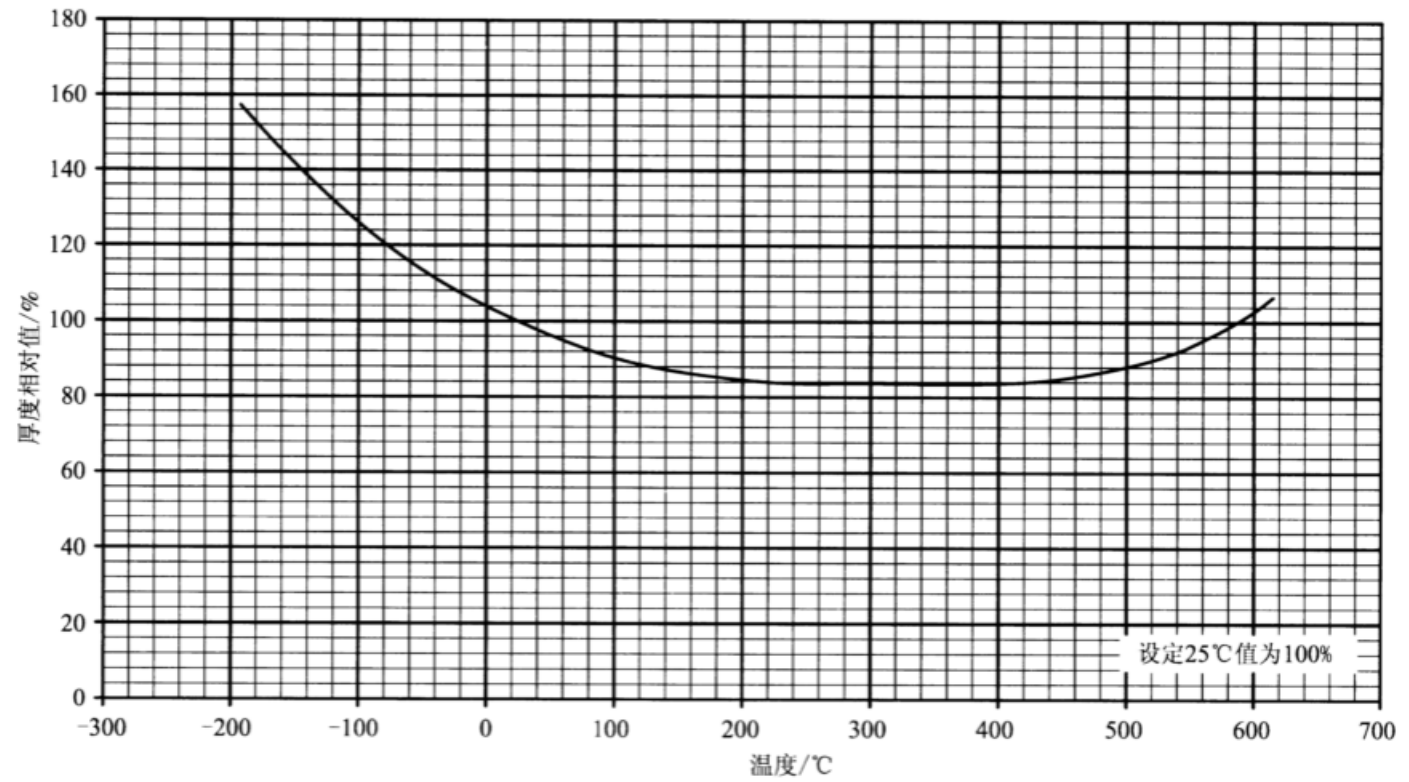


图 B.1 碳钢脉冲涡流检测厚度相对值随温度变化曲线

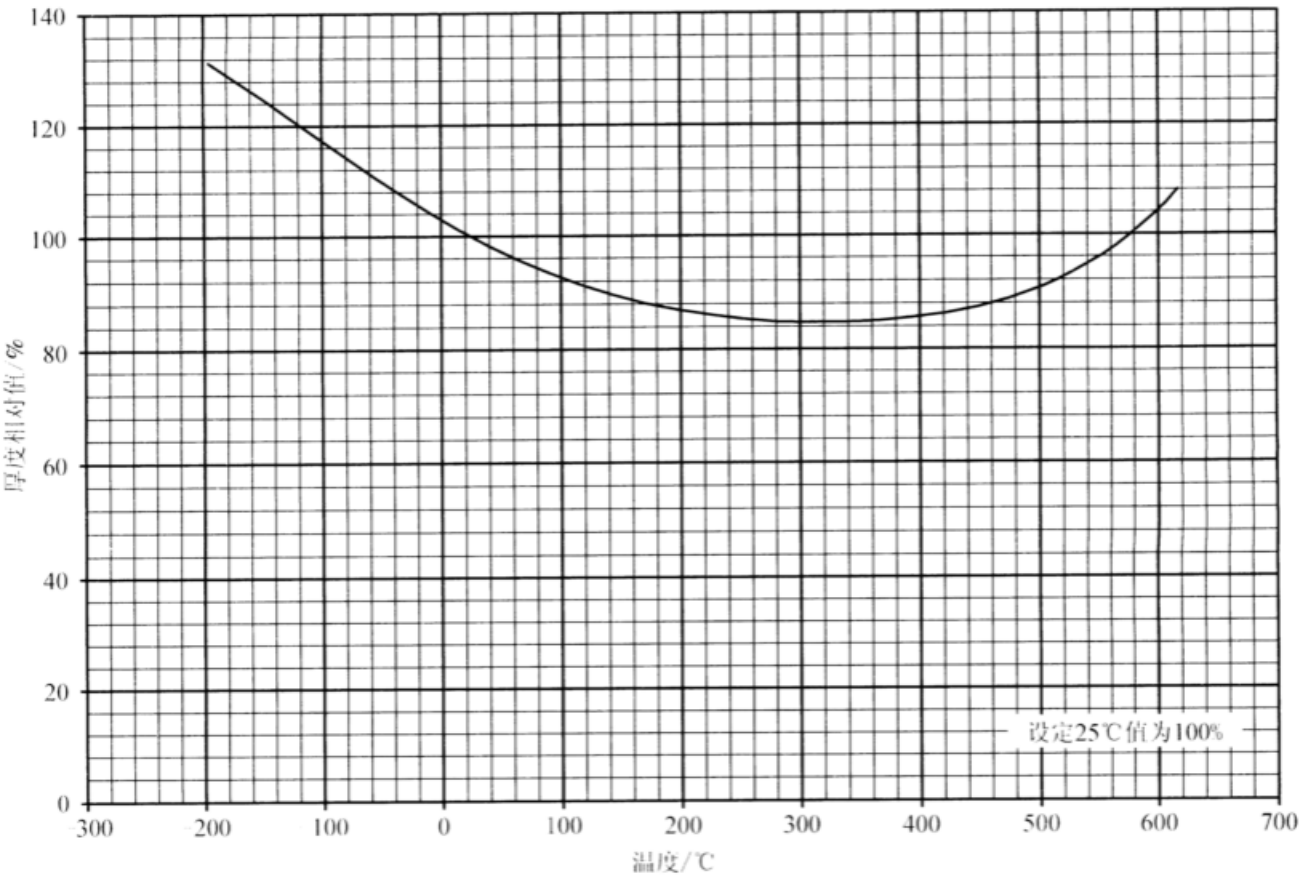


图 B.2 低合金铬钼钢脉冲涡流检测厚度相对值随温度变化曲线

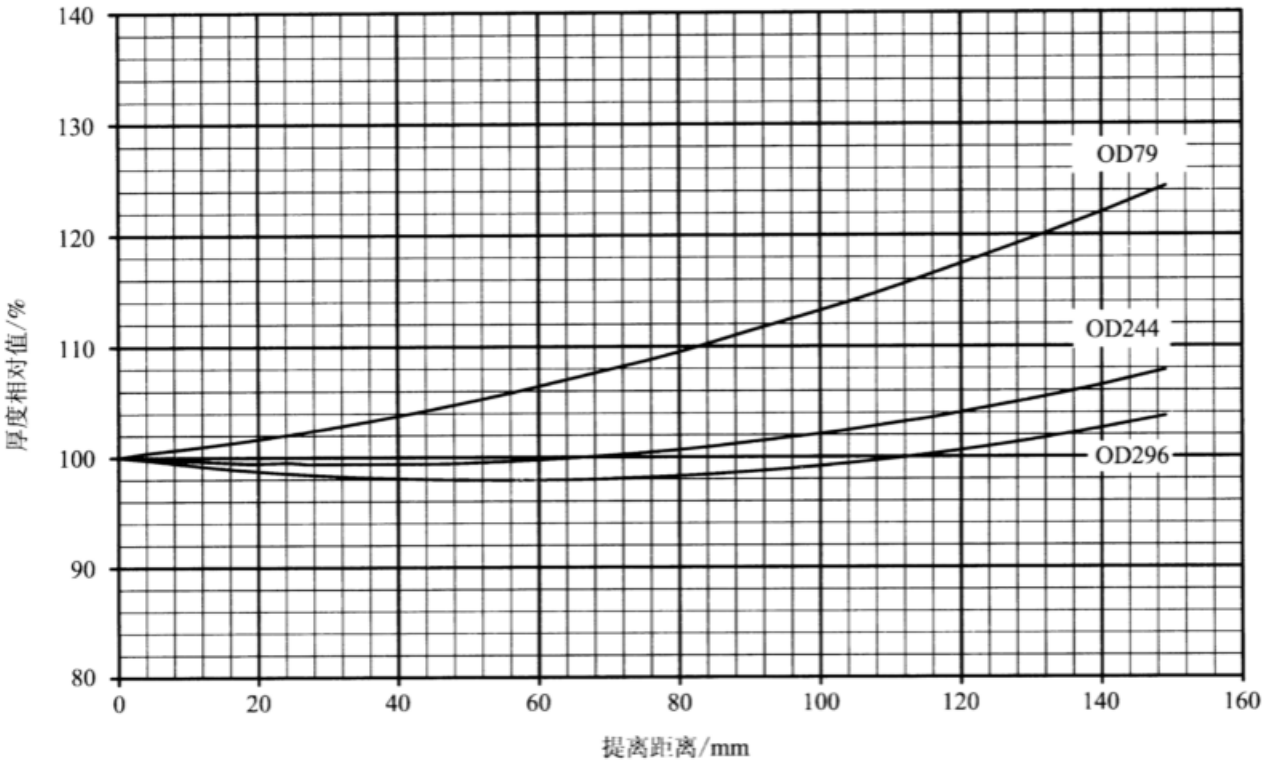


图 B.3 三种规格碳钢钢管在平行场作用下厚度相对值随提离距离变化曲线

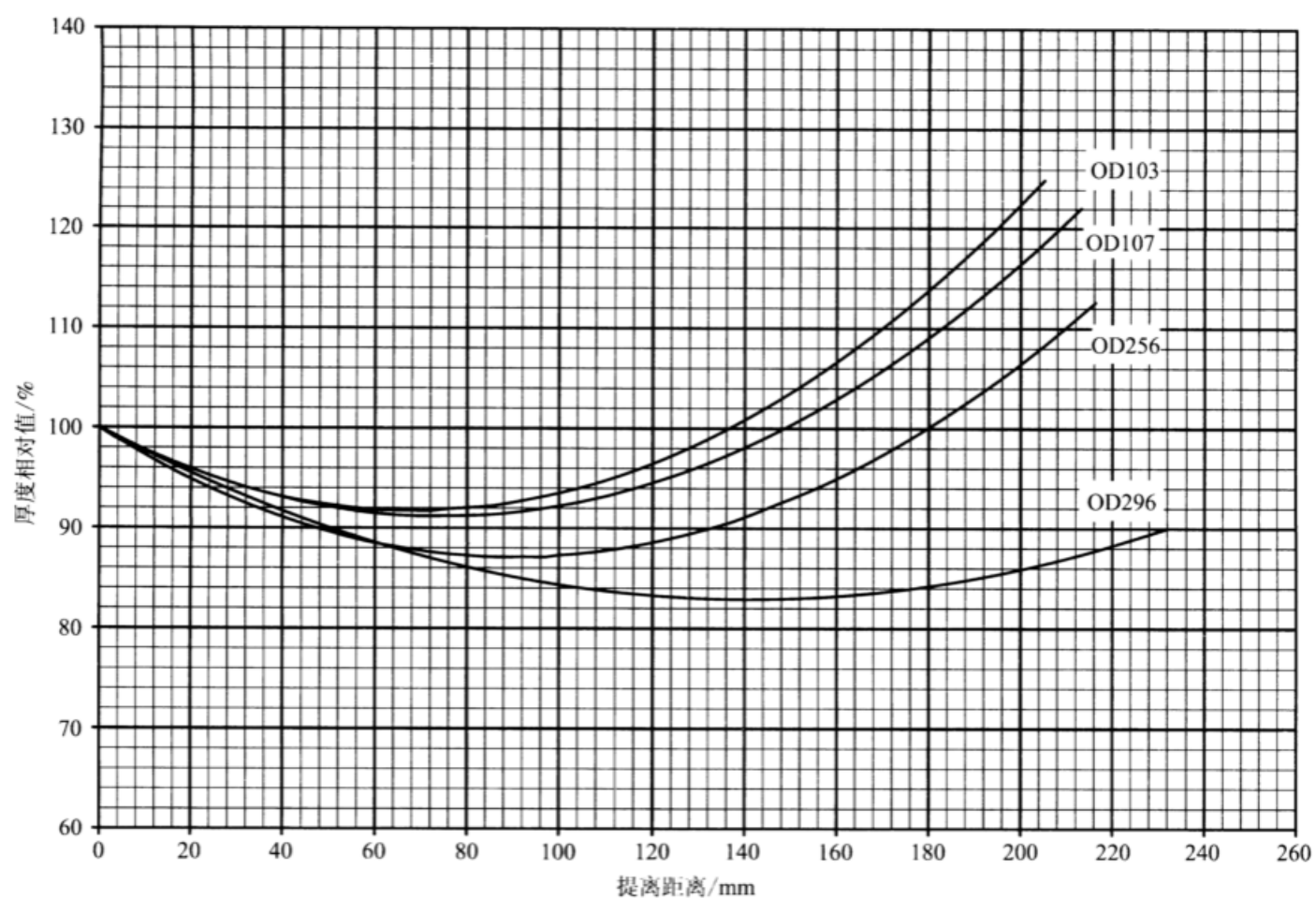


图 B.4 四种规格碳钢钢管在垂直场作用下厚度相对值随提离距离变化曲线