

团 体 标 准

T/CASEI 021—2023

油气管道内检测器测试与评价 第 2 部分：漏磁检测器

Test and evaluation for In-line inspection tool of oil & gas pipeline—
Part 2: Magnetic flux leakage detector



2023-07-20 发布

2023-07-20 实施



中国特种设备检验协会 发布

目 次

前言 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 总体要求 2

5 评价程序 3

6 测试平台的要求 4

7 牵拉试验 5

8 性能评价 7

9 评价报告 8

附录 A（规范性） 油气管道金属损失类型定义 10

附录 B（资料性） 人工缺陷制作 11

附录 C（规范性） 测试试验实施 14

附录 D（规范性） 性能测试结果 17

附录 E（规范性） 内检测器性能评价 18

附录 F（资料性） 计算示例 29

前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件由中国特种设备检验协会提出并归口。

本文件起草单位：中国特种设备检测研究院、国家管网集团科学技术研究总院分公司、国家管网集团生产部、中国特种设备检验协会、沈阳工业大学、清华大学、国家管网集团西南管道有限责任公司、国家管网集团北方管道有限责任公司、国家管网集团西部管道有限责任公司、中国石油勘探与生产分公司、中石化油田勘探开发事业部、中海石油气电集团有限责任公司、国家管网集团华北公司山东客户服务中心、管网集团（徐州）管道检验检测有限公司、中油管道检测技术有限责任公司、国家管网集团浙江省天然气管网有限公司、广东大鹏液化天然气有限公司、上海市特种设备监督检验技术研究院、江苏省特种设备安全监督检验研究院、安徽省特种设备检测院、安工智能检测技术（深圳）有限公司、中国石油大学（北京）。

本文件主要起草人：陈金忠、李睿、何仁洋、王富祥、耿丽媛、王国庆、张青斌、闻亚星、章卫文、左延田、陈潇、贾海东、余东亮、吉建立、常连庚、燕冰川、王维斌、韩烨、苗文成、屈丹龙、王联伟、何伟、李强、黄松岭、罗毅辉、潘强华、辛佳兴。

本文件为首次发布。

油气管道内检测器测试与评价

第2部分：漏磁检测器

1 范围

本文件规定了油气管道漏磁内检测器测试与评价的总体要求、评价程序、测试平台要求、测试过程、性能评价、评价报告等方面的主要内容和基本要求。

本文件适用于油气管道漏磁内检测器的测试与评价，其他管道系统可参考使用。管道漏磁内检测器环道实验可参考本文件执行。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；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。

TSG D7003 压力管道定期检验规则——长输管道

GB/T 27699 钢质管道内检测技术规范

SY/T 6597 油气管道内检测技术规范

3 术语和定义

GB/T 27699 和 GB/T 6597 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

漏磁内检测 **magnetic flux leakage (MFL)**

利用漏磁检测原理检测油气管道管体特征或异常的管道内检测技术。

3.2

热影响区 **heat affected zone**

焊接过程中产生的高温使焊缝周围金属性能发生改变的区域，他不同于焊缝本身。本文件中指区域长度为2倍壁厚以内且不小于20 mm的区域。

3.3

通道等效丢失里程 **equivalent lost miles**

将漏磁内检测器检测数据丢失通道或者受噪声影响失效的通道转换为等效里程丢失量。

3.4

数据分析 **data analysis**

对检测信号进行分类和表征的过程。

3.5

人员资质 **personnel qualification**

人员履行某项特定工作职责所要求持有的能力证书，以证明具备相应的知识、技术和经验。

3.6

评价程序 **evaluation process**

通过测试和分析,评价漏磁内检测器性能指标的程序。

3.7

评价报告 **qualification report**

基于漏磁内检测器的现场操作、数据分析及牵拉试验等结果,评估给出漏磁内检测器性能指标的报告。

3.8

性能验证 **basic performance verification**

通过牵拉试验,将牵拉试验结果与样管缺陷计量结果进行比对,以验证漏磁内检测器对管体常规金属损失类型缺陷的检测性能。

3.9

综合性能评价 **comprehensive performance evaluation**

采用专家打分的方法,对漏磁内检测器的金属损失类型管体常规缺陷、金属损失类型焊缝缺陷、热影响区金属损失类型缺陷、针孔类型缺陷及定位能力等方面的检测性能进行的综合评价。

3.10

内部缺陷 **internal defect**

发生在管壁内表面的缺陷。

3.11

外部缺陷 **external defect**

发生在管壁外表面及管壁内部的缺陷。

4 总体要求

4.1 本文件所指的测试与评价是指第三方评价机构根据委托,对被评价方的漏磁内检测器性能开展一种验证和评价活动。

4.2 测试与评价的时机要求

4.2.1 漏磁内检测器首次用于工程现场检测前,应当进行测试与评价。

4.2.2 漏磁内检测器改造后的重新评价要求:

- 1) 改造后,其检测性能发生重大改变,则需重新进行测试与评价;
- 2) 改造后,其检测性能未发生重大改变,可不需要重新进行测试与评价,但需在检测报告中备注说明。

4.2.3 检测性能重大改变,指漏磁内检测器的数据采集系统(电子包)或励磁部分有更换。

4.3 对评价方和被评价方的要求

4.3.1 评价方(评价机构)应符合以下条件:

- 1) 评价方应为特种设备检验检测领域的第三方机构(应为委托单位、检验机构无利害关系的专业性、非营利性、全国性社会组织);
- 2) 评价方应提供具备开展牵拉试验的场地、动力装置、含人工或自然缺陷的牵拉试验样管;

- 3) 评价方应建立与评价工作相适应的质量管理体系,且应具有相应的无损检测仪器或机构评级工作经验。
- 4.3.2 被评价方(检测机构)应满足以下要求:
- 1) 被评价方应具备开展漏磁内检测的能力,按照有关法律、法规、规章、安全技术规范及相关标准的要求开展检测工作;
 - 2) 被评价方应提供漏磁内检测器系统,包括但不限于漏磁内检测器、数据分析软件,以及具有相应资质与能力的检测器调试、数据下载、分析并出具报告的人员;
 - 3) 被评价方应按照评价方的要求完成设备调试、牵拉试验与检测报告出具。
- 4.3.3 评价方与被评价方参与漏磁内检测器性能测试与评价的人员,均应持有市场监督管理部门颁发的特种设备无损检测 MFL-II资质证书,其中:
- 1) 内检测器牵拉试验人员,应有相关的设备操作经验;
 - 2) 内检测器数据分析人员,应有相关的数据分析经验;
 - 3) 评价报告的审核人员,还应持有国家市场监督管理总局颁发的压力管道检测师资格证(DS)证书。
- 4.3.4 评价方应在牵拉试验前告知被评价方牵拉试验样管材质、壁厚等参数。
- 4.3.5 评价方依据被评价方提供的牵拉检测报告和原始数据对被评价方检测器性能进行评价。
- 4.4 评价过程使用的仪器或测量工具应当在检定或校准周期内。
- 4.5 测试评价工作应当遵循客观、公正、保密的原则。

5 评价程序

5.1 评价工作一般包括申请、委托、测试与评价和出具评价报告等环节。

5.2 申请

评价前,申请单位需要向评价机构提交书面申请,并提供以下资料:

- 1) 待测试漏磁内检测器的基本性能参数;
- 2) 待测试漏磁内检测器设备图;
- 3) 参与本次测试与评价工作的人员资质;
- 4) 评价机构认为有必要的其他资料。

5.3 委托

- 1) 评价机构接到申请后,应当在10个工作日内与申请单位商洽对接,并及时与申请单位签订服务委托协议,明确测试与评价的日期、程序和要求等;
- 2) 一般情况下,测试与评价工作应在60个工作日内完成。测试评价机构因故无法按时完成测试评价工作的,应当和申请单位协商更改测试评价日期。

5.4 测试与评价

5.4.1 测试与评价包括:牵拉前的准备、牵拉试验、检测报告出具和性能评价等环节,如图1所示。

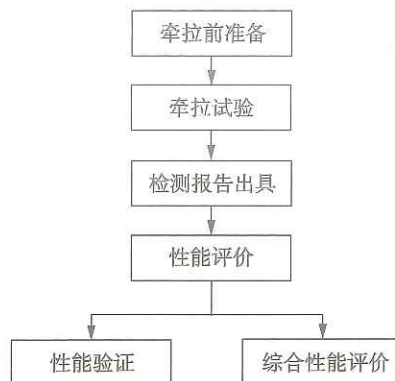


图1 漏磁内检测器性能测试与评价流程

5.4.2 漏磁内检测器的性能测试与评价分为性能验证和综合性能评价两部分。

- 1) 性能验证对象主要为 TSG D7003《压力管道定期检验规则——长输管道》或 GB/T 27699《钢质管道技术内检测规范》中漏磁检测器性能指标规定的常规管体金属损失类型缺陷；
- 2) 综合性能评价对象主要包括金属损失类型管体常规缺陷、金属损失类型焊缝缺陷、热影响区金属损失类型缺陷和针孔类型缺陷等。

5.4.3 测试与评价过程应符合以下要求：

- 1) 测试与评价过程应当形成测试记录，包括检测原始数据、牵拉试验条件、检测结果等；
- 2) 测试与评价完成前，评价机构应将牵拉试验中出现的异常情况及时告知申请方。

5.5 出具评价报告

测试与评价工作完成后，评价机构应出具评价报告。

6 测试平台的要求

6.1 牵拉试验台

6.1.1 牵拉装置应满足相应口径管道漏磁内检测器的牵拉试验动力要求。

6.1.2 牵拉装置能够提供 0.1 m/s~5.0 m/s 范围内的牵拉速度。

6.1.3 牵拉装置能够记录牵引力、牵拉速度等参数。

6.1.4 牵拉样管分为加速管段、匀速管段、减速管段三部分，缺陷应布置在匀速管段。

6.1.5 牵拉样管的加速段和减速段应满足加速和减速过程所需的安全长度。

6.1.6 牵拉样管锚固装置应稳定可靠，确保牵拉时样管固定。

6.2 缺陷样管

6.2.1 根据待测试漏磁内检测器的规格，匹配相应的缺陷样管。

6.2.2 测试一般采用人工缺陷，根据测试要求也可增加来自现场的含缺陷管件，样管缺陷需要经过计量或第三方认证，评价方应制作系列含缺陷样管，实施测试时随机抽取缺陷样管。

6.2.3 样管中的人工缺陷主要包含金属损失类型常规管体缺陷、金属损失类型焊缝缺陷、热影响区金属损失缺陷和针孔类型缺陷等，其中管体常规金属损失类型缺陷应包含内部缺陷和外部缺陷。制作的金属损失类型缺陷应包含附录 A 中的全部缺陷类型，且人工缺陷制作可参考附录 B。

6.2.4 热影响区域缺陷制作可参考附录 B。

6.2.5 不同类型人工缺陷应满足最小数量要求，见附录 B。

6.2.6 样管上相邻缺陷轴向和环向间距应大于较大缺陷的轴向或环向尺寸的 2 倍且不小于 100 mm。

6.2.7 除特殊要求外，缺陷与焊缝的距离应大于 100 mm，与法兰的距离应大于 300 mm。

6.2.8 采用来自现场含缺陷样管时需对其尺寸进行准确测量，检测器的缺陷尺寸量化精度评价时应考虑测量工具的测量精度。

6.2.9 需对加工后的人工缺陷进行准确测量并填写漏磁内检测器样管缺陷参数计量结果，见附录 C 中表 C.2，检测器的缺陷尺寸量化精度评价时应考虑测量工具的测量精度。

6.2.10 人工缺陷制作完成后，需精确测量缺陷位置信息，并绘制缺陷分布图。

6.2.11 样管中可根据委托要求布置小开口、外接金属物、套管等特征。

6.3 其他

6.3.1 牵拉操作场地需满足性能测试的空间要求，具备油气管道内检测器牵拉发球、牵拉收球等必要的操作空间。

6.3.2 牵拉操作场地应配备相应的起重辅助设备、测量工具、安全设施等。

7 牵拉试验

7.1 牵拉试验前准备

7.1.2 制定牵拉试验方案，并明确以下内容：

- 1) 确定牵拉试验采用的牵拉速度，牵拉速度宜为 0.5 m/s、1.0 m/s 和 3.0 m/s，且每种速度牵拉次数不少于 2 次；
- 2) 明确人员分工。

7.1.3 记录漏磁内检测器的基本参数，包括但不限于：

- 1) 采集通道数量；
- 2) 环向间距；
- 3) 轴向采样间距；
- 4) 磁化方向和磁化水平等。

7.1.4 在牵拉试验前，需对漏磁内检测器主要结构的几何尺寸进行测量，这些几何尺寸参数包括但不限于：

- 1) 检测器总长度；
- 2) 检测器各组节长度；
- 3) 驱动皮碗外径、厚度；
- 4) 磁化器外径。

7.2 牵拉试验实施

7.2.1 控制牵拉速度，使漏磁内检测器经过含缺陷管段时，在预定速度下匀速运行。

7.2.2 牵拉完成后，检查漏磁内检测器外观，若因牵拉导致检测器结构损坏，需分析原因，采取改进措施后，重新开展牵拉试验。

7.2.3 记录不同牵拉速度下的牵引力，并记录检测器性能牵拉试验结果，见附录 C 中表 C.3。

7.3 数据质量检查

7.3.1 对于漏磁数据主通道丢失的，需转化成等效丢失里程，即通道等效丢失里程。计算方法详见附录 F 中 F.3。

7.3.2 信号噪声会影响缺陷的正确识别和量化精度，噪声信号影响程度可通过等效丢失里程计算。

7.3.3 检测数据完整性应满足以下要求：

- 1) 所有主传感器的数据累计损失同时小于或等于管道长度的 0.5%；

- 2) 单个主传感器的数据累计损失小于或等于管道表面积的 3%;
- 3) 相邻主传感器的数据累计损失, 覆盖周长超过 25 毫米小于或等于管道长度的 10%;
- 4) 影响正常数据分析的噪声通道可接受条件应参照本条 1) 或本条 2) 的要求。

7.4 出具检测报告

7.4.1 完成牵拉试验后, 被评价方需及时出具检测报告。检测报告应包括: 检测器运行数据、焊缝信息、缺陷信息、其他特征信息与数据完整性检查等基本内容。

7.4.2 检测器运行数据应至少包括:

- 1) 磁场方向和磁化水平;
- 2) 轴向采样间距/频率;
- 3) 环向间距;
- 4) 检测阈值;
- 5) 报告阈值;
- 6) 运行速度曲线图;
- 7) 不同金属损失类型的检测精度及可信度;
- 8) 缺陷的定位精度。

7.4.3 焊缝信息至少应包括:

- 1) 焊缝的里程位置;
- 2) 管节长度(环焊缝下游);
- 3) 焊缝交点(无缝管除外);
- 4) 距参考焊缝或者法兰距离;
- 5) 参考点名称;
- 6) 环焊缝编号。

7.4.4 金属损失类型焊缝缺陷信息, 应包括:

- 1) 缺陷里程位置;
- 2) 长度、宽度;
- 3) 缺陷类型;
- 4) 环向位置;
- 5) 距参考焊缝或者法兰距离;
- 6) 参考点名称。

7.4.5 金属损失类型管体缺陷信息, 应包括:

- 1) 缺陷里程位置;
- 2) 缺陷尺寸;
- 3) 尺寸类型;
- 4) 环向位置;
- 5) 距参考焊缝或者法兰距离;
- 6) 距所在管节前后焊缝距离等。

7.4.6 其他特征信息, 应包括:

- 1) 特征里程位置;
- 2) 特征尺寸;

- 3) 环向位置;
- 4) 距参考焊缝或者法兰距离;
- 5) 距所在管节前后焊缝距离等。

7.4.7 牵拉完成后需检查检测数据完整性,数据完整性检查内容包括但不限于:

- 1) 有效通道数量;
- 2) 传感器噪声;
- 3) 距离偏差;
- 4) 特征遗漏或没有记录。

8 性能评价

8.1 评价指标

8.1.1 金属损失类型常规管体缺陷检测评价指标主要包括:

- 1) 深度检测阈值;
- 2) 检测概率;
- 3) 识别概率;
- 4) 尺寸精度。

8.1.2 金属损失类型焊缝缺陷检测评价指标主要包括:

- 1) 检测概率;
- 2) 识别概率。

8.1.3 热影响区金属损失类型缺陷检测评价指标主要包括:

- 1) 检测概率;
- 2) 识别概率。

8.1.4 针孔类型缺陷检测评价指标主要包括:

- 1) 检测概率;
- 2) 识别概率;
- 3) 最小可检测直径。

8.1.5 定位精度的评价指标主要包括:

- 1) 环向位置精度;
- 2) 特征与相邻环焊缝距离精度;
- 3) 距参考焊缝或者法兰距离的精度;
- 4) ID/OD 区分准确率。

8.2 性能验证

8.2.1 内检测器的性能验证主要包括:尺寸检测精度、定位精度的验证及检测概率和识别概率的验证。

8.2.2 检测器尺寸检测精度验证主要包括:深度精度、宽度精度、长度精度等内容。

8.2.3 检测器定位精度的验证主要包括:环向位置精度、轴向定位精度、ID/OD 区分准确率等内容。

8.2.4 样管中缺陷数据量有限,宜采用统计学方法对内检测器各项性能指标进行评价,验证方法详见附录 F 中 F.5。

8.2.5 检测器的检测概率和识别概率采用样管中已知缺陷数量和类型进行验证,验证方法详见附录F中F.6。

8.3 综合性能评价

8.3.1 内检测器的综合性能评价主要包括:金属损失类型管体常规缺陷检测性能评价、金属损失类型焊缝缺陷检测性能评价、热影响区金属损失类型缺陷检测性能评价、针孔类型缺陷检测性能评价、定位性能评价。

8.3.2 内检测器金属损失类型常规管体缺陷检测性能、金属损失类型焊缝缺陷检测性能、热影响区金属损失类型缺陷检测性能、针孔类型缺陷检测性能、定位能力评价分项分值及权重详见附录E。

8.3.3 综合性能评价

8.3.3.1 根据牵拉检测报告对漏磁内检测器各项性能进行评分,评分越高检测器性能越好。

8.3.3.2 相同牵拉试验条件下同规格的检测器综合性能评分可进行比较,不同规格的检测器综合性能评分不作为相互比较依据。

8.3.3.3 检测器综合性能评价方法参考附录E。

9 评价报告

9.1 测试与评价完成后,评价机构应根据委托要求及时出具评价报告。

9.2 评价报告包括性能验证报告和综合性能评价报告,评价报告中的数据应真实、可追溯。

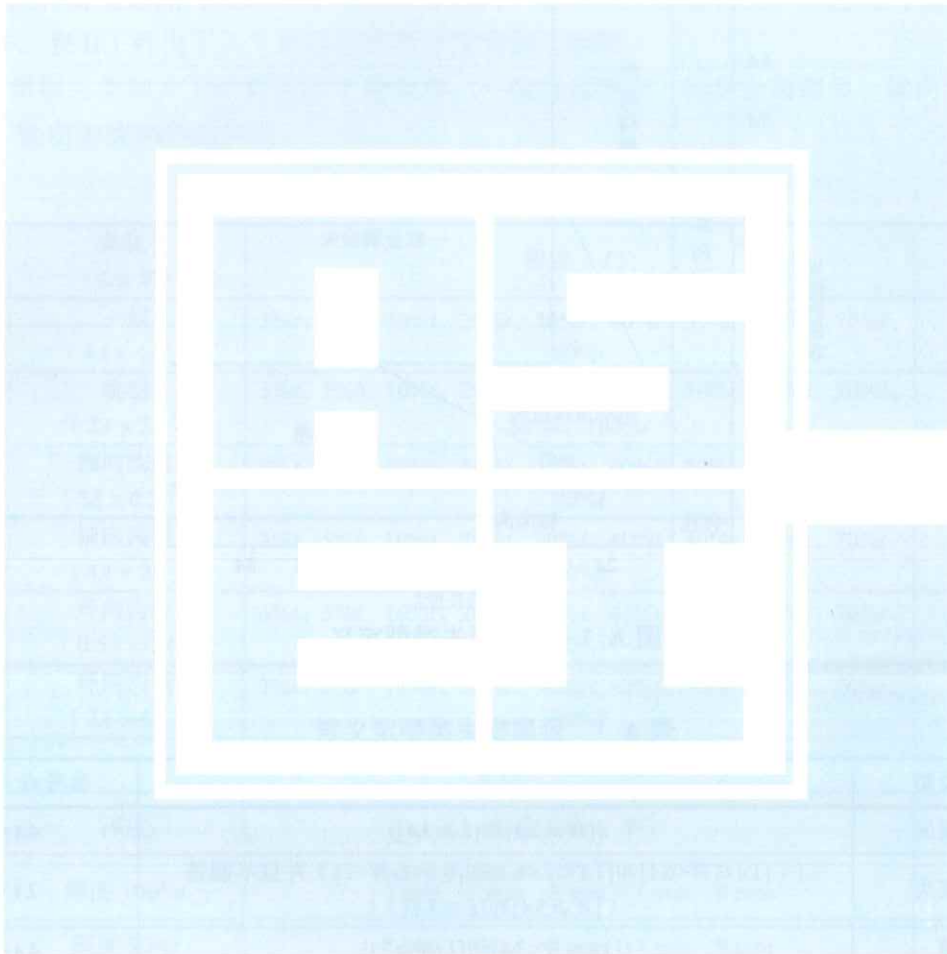
9.3 性能验证报告至少应包括下列内容:

- 1) 委托单位或制造单位;
- 2) 评价机构或单位;
- 3) 牵拉试验样管规格、材质、壁厚与编号等;
- 4) 牵拉试验工艺条件(牵引力、速度、温度等);
- 5) 牵拉试验内容;
- 6) 检测器基本性能参数、名称、检测器图片与编号等;
- 7) 检测器基本性能参数测试结果;
- 8) 牵拉试验数据质量;
- 9) 检测器牵拉试验结果;
- 10) 性能验证结果;
- 11) 编制者和审核者;
- 12) 编制日期。

9.4 综合性能评价报告至少应包括下列内容:

- 1) 委托单位或制造单位;
- 2) 评价机构或单位;
- 3) 牵拉试验样管规格、材质与壁厚等;
- 4) 牵拉试验工艺条件(牵引力、速度、温度等);
- 5) 牵拉试验内容;
- 6) 检测器基本性能参数、名称、检测器图片与编号等;
- 7) 检测器基本性能参数测试结果;

- 8) 牵拉试验数据质量;
- 9) 检测器牵拉试验结果;
- 10) 综合性能评价结果;
- 11) 编制者和审核者;
- 12) 编制日期。



附录 A
(规范性)
油气管道金属损失类型定义

金属损失类型定义如图 A.1 所示。

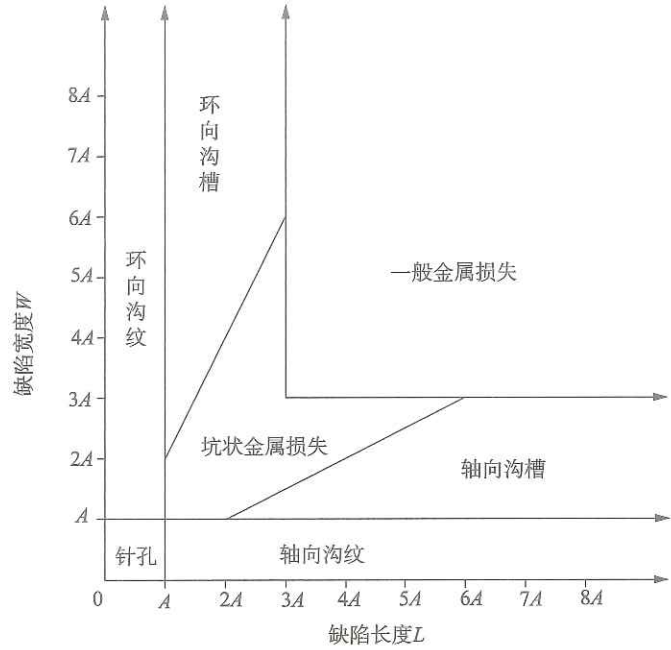


图 A.1 金属损失类型定义

表 A.1 金属损失类型定义表

金属损失类型	定义	参考点 ($L \times W$)
一般金属损失	$\{[W \geq 3A] \text{ 和 } [L \geq 3A]\}$	$4A \times 4A$
坑状金属损失	$\{([1A \leq W < 6A] \text{ 和 } [1A \leq L < 6A] \text{ 和 } [0.5 < L/W < 2]) \text{ 并且不能是 } ([W \geq 3A] \text{ 和 } [L \geq 3A])\}$	$2A \times 2A$
轴向沟槽	$\{[1A \leq W < 3A] \text{ 和 } [L/W \geq 2]\}$	$4A \times 2A$
环向沟槽	$\{[L/W \leq 0.5] \text{ 和 } [1A \leq L < 3A]\}$	$2A \times 4A$
针孔	$\{[0 < W < 1A] \text{ 和 } [0 < L < 1A]\}$	$1/2A \times 1/2A$
轴向沟纹	$\{[0 < W < 1A] \text{ 和 } [L \geq 1A]\}$	$2A \times 1/2A$
环向沟纹	$\{[W \geq 1A] \text{ 和 } [0 < L < 1A]\}$	$1/2A \times 2A$
注 1: L 表示缺陷的长度。 注 2: W 表示缺陷的宽度。 注 3: A 是几何参数; 如果 $t < 10 \text{ mm}$, 那么 $A = 10 \text{ mm}$; 如果 $t \geq 10 \text{ mm}$, 那么 $A = t$ 。 注 4: t 表示管道正常壁厚。		

附录 B
(资料性)
人工缺陷制作

B.1 金属损失人工缺陷

B.1.1 缺陷样管应选用与被检对象几何尺寸相同,电磁特性相近、生产工艺相同和组织成分相近的管件制作。表 B.1 列出了人工缺陷制作尺寸及宜加工数量。

B.1.2 金属损失类型人工缺陷包括 7 种类型:一般金属损失、坑状金属损失、轴向沟槽、环向沟槽、针孔、轴向沟纹和环向沟纹。

表 B.1 油气管道漏磁内检测样管缺陷制作要求

金属损失 缺陷位置	类型 ^a ($L \times W$)	深度 (d)					数量 (每种深度)	
外部	一般 ($4A \times 4A^b$)	3% t 、5% t 、10% t 、20% t 、30% t 、40% t 、50% t 、60% t 、70% t 、80% t					2~4	
	坑状 ($2A \times 2A$)	3% t 、5% t 、10% t 、20% t 、30% t 、40% t 、50% t 、60% t 、70% t 、80% t 、100% t					2~4	
	轴向沟纹 ($2A \times 0.5A$)	3% t 、5% t 、10% t 、20% t 、30% t 、40% t 、50% t 、60% t 、70% t 、80% t					2~4	
	轴向沟槽 ($4A \times 2A$)	3% t 、5% t 、10% t 、20% t 、30% t 、40% t 、50% t 、60% t 、70% t 、80% t					2~4	
	环向沟纹 ($0.5A \times 2A$)	3% t 、5% t 、10% t 、20% t 、30% t 、40% t 、50% t 、60% t 、70% t 、80% t					2~4	
	环向沟槽 ($2A \times 4A$)	3% t 、5% t 、10% t 、20% t 、30% t 、40% t 、50% t 、60% t 、70% t 、80% t					2~4	
	针孔类型金属损失							
	深度	针孔直径 (Φ)					数量 (每种直径)	
	深度 100% t	2 mm	3 mm	5 mm	7 mm	9 mm	2~4	
	深度 50% t	2 mm	3 mm	5 mm	7 mm	9 mm	2~4	
	深度 35% t	2 mm	3 mm	5 mm	7 mm	9 mm	2~4	
	深度 20% t	2 mm	3 mm	5 mm	7 mm	9 mm	2~4	
内部	($2A \times 2A$)	10% t 、20% t 、30% t 、40% t					2~4	
	($2A \times 4A$)	10% t 、20% t 、30% t 、40% t					2~4	
	($4A \times 4A$)	5% t 、10% t 、20% t 、50% t					2~4	
热影响区域	坑状 ($1.5A \times 1.5A$)	10% t 、20% t 、35% t 、45% t 、60% t 、80% t					2~4	

^a L 缺陷长度, W 缺陷宽度, d 缺陷深度。
^b A 是几何参数, 如果 $t<10$ mm, 那么 $A=10$ mm; 如果 $t\geq 10$ mm, 则 $A=t$ 。

B.1.3 焊缝的人工缺陷包括咬边、内凹、条缺、圆缺和焊缝上金属损失，表 B.2 列出了焊缝人工缺陷制作尺寸及宜加工数量。

表 B.2 焊缝缺陷相关参数

焊缝缺陷类型	尺寸/mm		每种数量 (个)
咬边	宽度	10 25 30 40 55 75	1~2
内凹	宽度	10 20 25 40 35 55	1~2
条缺	宽×长	7×2、15×2、24×2、50×2、15×4、24×4、50×4	1~2
圆缺	直径	Φ3、Φ5、Φ6	1~2
焊缝上金属损失	环向沟纹 (0.4A×1.5A)	10%t、20%t、35%t、45%t、60%t、80%t	1~2

注1：焊缝缺陷宜用射线等方法检测对缺陷尺寸进行复检，获取缺陷的实际尺寸。
 注2：金属损失沿管道轴向为长度方向，沿管道环向为宽度方向。
 注3：咬边、内凹、条缺、圆缺沿焊缝平行方向为长、垂直方向为宽。

B.2 人工缺陷的制作要求

B.2.1 缺陷的底部轮廓应接近真实腐蚀，宜为正圆形的一部分。参见图 B.1。



图 B.1 缺陷底部轮廓示意图

B.2.2 沟纹及沟槽的制作方法和圆形缺陷相似，边缘接近真实腐蚀，轴向沟纹或沟槽的横切、周向沟纹或沟槽的纵切和轴向沟纹或沟槽的纵切、沟纹或沟槽的横切，参见图 B.2。



a) 轴向沟纹或沟槽的横切、周向沟纹或沟槽的纵切 b) 轴向沟纹或沟槽的纵切、周向沟纹或沟槽的横切

图 B.2 沟纹及沟槽缺陷纵横切面示意图

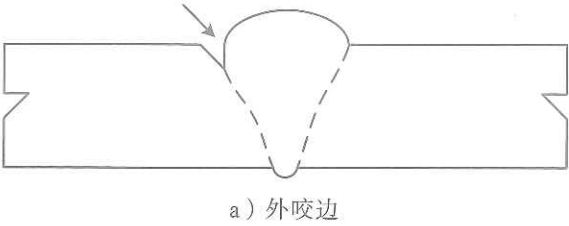
B.2.3 针孔缺陷的制作，底部为正圆形。参见图 B.3。



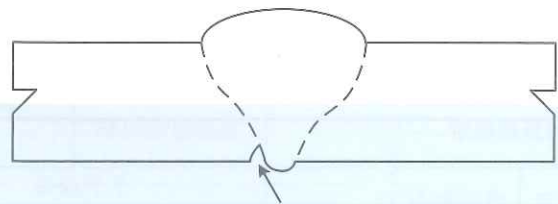
a) 横切 b) 纵切

图 B.3 针孔缺陷横纵切面示意图

B.2.4 咬边，沿焊趾木材部位产生的沟槽或凹陷，分为外咬边和内咬边。参见图 B.4。



a) 外咬边



b) 内咬边

图 B.4 咬边示意图

B.2.5 根部内凹，焊缝边缘良好融合和焊透，但焊缝内表面焊道中部比管壁表面稍低形成的内凹。参见图 B.5。

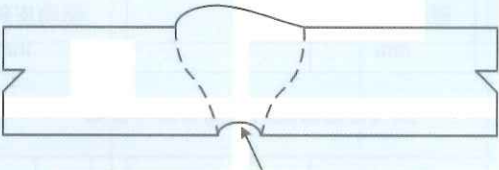
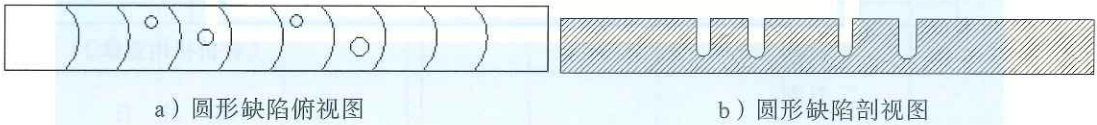


图 B.5 根部内凹示意图

B.2.6 圆形缺陷，长宽比小于或等于 3 的气孔、夹杂和其他杂物等缺欠，可以是圆形、椭圆形、锥形或带有尾巴等不规则形状。参见图 B.6。

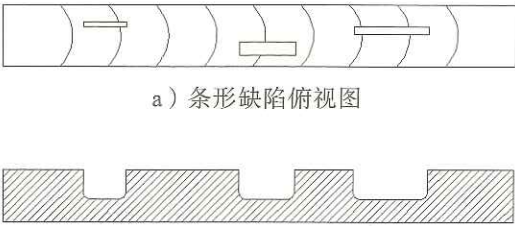


a) 圆形缺陷俯视图

b) 圆形缺陷剖视图

图 B.6 圆形缺陷示意图

B.2.7 条形缺欠，长宽比大于 3 的气孔、夹渣和其他夹杂等缺欠，参见图 B.7。



a) 条形缺陷俯视图

b) 条形缺陷剖视图

图 B.7 条形缺陷示意图

附 录 C
(规范性)
测试试验实施

表 C.1 漏磁内检测器基本参数测试结果

编号：

委托单位									
评价机构									
检测器编号					检测器规格				
设备类型		检测器总长 mm			驱动皮碗外径 mm				
各组节长度		磁化器外径 mm			驱动皮碗厚度 mm				
油气管道漏磁内检测器基本参数									
探头 数量 (个)	通道数量 (个)				环向间距 mm	磁化 方向	磁化水平 A/m	采样方式 (时间/里程)	轴向 采样 间距
	轴向	环向	径向	ID/OD					
编制：日期： 审核：日期：						(评价机构盖章) 年 月 日			

表 C.2 漏磁内检测器样管缺陷参数计量结果

编号：

计量单位										
样管编号			样管规格					样管材质		
90%可信度下计量精度										
长度精度			深度精度			轴向位置精度				
宽度精度			环向位置精度			壁厚测量精度				
编号	缺陷类型	缺陷尺寸 mm			环向位置 h:min	距最近参 考点距离 mm	距前焊缝 距离 m	距后焊缝 距离 m	ID/OD	
		长度	宽度	深度						
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										
9										
10										
11										
12										
13										
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	
编制： 审核：					日期： 日期：					(计量单位盖章) 年 月 日

表 C.3 检测器性能牵拉试验结果

编号：

委托单位							
测试评价机构							
牵拉试验条件	设备编号			牵拉试验日期			
	样管规格		牵拉速度 m/s	速度 1	速度 2	速度 3	...
	样管材质		牵引力 KN				
尺寸精度							
金属损失类型	一般 ($4A \times 4A$)	坑状 ($2A \times 2A$)	轴向沟纹 ($2A \times 0.5A$)	轴向沟槽 ($4A \times 2A$)	环向沟纹 ($0.5A \times 2A$)	环向沟槽 ($2A \times 4A$)	针孔 ($0.5A \times 0.5A$)
检测概率 90%时, 最小检测深度 (mm)							—
可信度 90%时, 长度精度 (mm)							—
可信度 90%时, 宽度精度 (mm)							—
可信度 90%时, 深度精度 (mm)							—
可信度 90%时, 深度 100%时的最小针孔直径 (mm)							
可信度 90%时, 深度 50%时的最小针孔直径 (mm)							
可信度 90%时, 深度 35%时的最小针孔直径 (mm)							
可信度 90%时, 深度 20%时的最小针孔直径 (mm)							
可信度 90%	距最近环焊缝轴向定位精度						
	环向定位精度 (°)						
	ID/OD 区分准确率						
	距最近参考点轴向定位精度						
检测数据质量符合要求				☐ 是 ☐ 否			
编制： 日期： 审核： 日期：				(评价机构盖章) 年 月 日			

附 录 D
(规范性)
性能测试结果

表 D.1 缺陷牵拉试验结果统计

	类型	样管中 缺陷 数量	检测缺 陷数量	正确识别 缺陷数量	POD	POI	检测阈值	可信度 90%时尺寸精度		
								长度误差 mm	宽度误差 mm	深度误差 mm
金属损失类 型管体常规 缺陷	一般									
	坑状									
	轴向沟纹									
	轴向沟槽									
	环向沟纹									
	环向沟槽									
针孔类型 缺陷	深度	样管中 缺陷数量	检测缺 陷数量	正确识别 缺陷数量	POD	POI	最小检测直径 mm			
	深度 100% <i>t</i>									
	深度 50% <i>t</i>									
	深度 35% <i>t</i>									
	深度 20% <i>t</i>									
热影响区金 属损失型 缺陷	—						—			
金属损失类 型焊缝缺陷	咬边						—			
	内凹									
	圆缺									
	条缺									
	焊缝金属损失									
可信度为 90%	环向定位精度（°）									
	特征与参考环焊缝距离精度（mm）									
	ID/OD 区分准确率									
	特征与参考点之间的距离误差（‰）									
数据质量										
注 1：POD=检测出缺陷数量/缺陷总数。										
注 2：POI=正确识别出的缺陷数量/已检测出缺陷总数。										

编制人： 日期： 审核人： 日期：

附 录 E
(规范性)
内检测器性能评价

表 E.1 内检测器性能评价

评价项目	内容	分项分值	单项得分
金属损失类型管体 常规缺陷 (100分)	最小检测深度 (G)	15	$G+D_1+D_2+D_3+J+P$
	尺寸精度 ($D_1+D_2+D_3$)	65	
	检测概率 (J)	10	
	识别概率 (P)	10	
热影响区金属损失 类型缺陷 (100分)	检测概率 (B)	70	$B+C$
	识别概率 (C)	30	
金属损失类型焊缝 缺陷 (100分)	检测概率 (K)	70	$K+Q$
	识别概率 (Q)	30	
针孔类型缺陷 (100分)	检测概率 (M)	40	$M+N+R$
	识别概率 (N)	20	
	最小检测直径 (R)	40	
定位精度 (100分)	环向定位精度 ($^{\circ}$)	30	T
	特征与相邻环焊缝距离误差 (mm)	20	
	参考焊缝与参考点之间的距离误差 (mm)	30	
	ID/OD 区分准确率	20	

表 E.2 漏磁内检测器金属损失类型管体常规缺陷最小深度检测性能评价

	金属损失缺陷类型	最小检测深度（a）	对应分值	分项得分	合计（G）
漏磁内检测器金属损失类型管体常规缺陷最小检测深度性能评价（15分）	一般金属损失	$a < 5\%t$	10	G_1	$G=15\times (G_1+G_2+G_3+G_4+G_5+G_6)/60$
		$5\%t\leq a < 10\%t$	8		
		$10\%t\leq a < 15\%t$	6		
		$15\%t\leq a < 20\%t$	4		
		$\geq 20\%t$	1		
	坑状金属损失	$a < 5\%t$	10	G_2	
		$5\%t\leq a < 10\%t$	8		
		$10\%t\leq a < 20\%t$	6		
		$20\%t\leq a < 30\%t$	4		
		$\geq 30\%t$	1		
	轴向沟纹金属损失	$< 8\%t$	10	G_3	
		$8\%t\leq a < 20\%t$	8		
		$20\%t\leq a < 30\%t$	6		
		$30\%t\leq a < 40\%t$	4		
		$\geq 40\%t$	1		
	轴向沟槽金属损失	$< 8\%t$	10	G_4	
		$8\%t\leq a < 20\%t$	8		
		$20\%t\leq a < 30\%t$	6		
		$30\%t\leq a < 40\%t$	4		
		$\geq 40\%t$	1		
	环向沟纹金属损失	$< 5\%t$	10	G_5	
		$5\%t\leq a < 10\%t$	8		
		$10\%t\leq a < 15\%t$	6		
		$15\%t\leq a < 20\%t$	4		
		$\geq 20\%t$	1		
环向沟槽金属损失	$< 5\%t$	10	G_6		
	$5\%t\leq a < 10\%t$	8			
	$10\%t\leq a < 15\%t$	6			
	$15\%t\leq a < 20\%t$	4			
	$\geq 20\%t$	1			

表 E.3 漏磁内检测器金属损失类型管体常规缺陷长度精度性能评价

漏磁内检测器金属损失类型管体常规缺陷长度精度性能评价（15分）	缺陷类型	长度精度	对应分值	分项得分	合计（ D_1 ）
	一般金属损失	$f_1 < 5$	10	L_1	$D_1=15\times (L_1+L_2+L_3+L_4+L_5+L_6)/60$
		$5\leq f_1 < 10$	8		
		$10\leq f_1 < 15$	6		
		$15\leq f_1 < 20$	4		
		$f_1\geq 20$	1		
	坑状金属损失	$f_1 < 5$	10	L_2	
		$5\leq f_1 < 10$	8		
		$10\leq f_1 < 15$	6		
		$15\leq f_1 < 20$	4		
		$f_1\geq 20$	1		
	轴向沟纹金属损失	$f_1 < 5$	10	L_3	
		$5\leq f_1 < 10$	8		
		$10\leq f_1 < 15$	6		
		$15\leq f_1 < 20$	4		
		$f_1\geq 20$	1		
	轴向沟槽金属损失	$f_1 < 5$	10	L_4	
		$5\leq f_1 < 10$	8		
		$10\leq f_1 < 15$	6		
		$15\leq f_1 < 20$	4		
		$f_1\geq 20$	1		
	环向沟纹金属损失	$f_1 < 5$	10	L_5	
		$5\leq f_1 < 10$	8		
		$10\leq f_1 < 15$	6		
		$15\leq f_1 < 20$	4		
		$f_1\geq 20$	1		
	环向沟槽金属损失	$f_1 < 5$	10	L_6	
		$5\leq f_1 < 10$	8		
		$10\leq f_1 < 15$	6		
		$15\leq f_1 < 20$	4		
$f_1\geq 20$		1			

表 E.4 漏磁内检测器金属损失类型管体常规缺陷宽度精度性能评价

漏磁内检测器金属损失类型管体常规缺陷宽度精度性能评价 (10分)	缺陷类型	宽度精度	对应分值	分项得分	合计（ D_2 ）
	一般金属损失	$f_1 < 7$	10	H_1	$D_2=10\times (H_1+H_2+H_3+H_4+H_5+H_6) /60$
		$7\leq f_1 < 10$	8		
		$10\leq f_1 < 20$	4		
		$f_1\geq 20$	1		
	坑状金属损失	$f_1 < 7$	10	H_2	
		$7\leq f_1 < 10$	8		
		$10\leq f_1 < 20$	4		
		$f_1\geq 20$	1		
	轴向沟纹金属损失	$f_1 < 7$	10	H_3	
		$7\leq f_1 < 10$	8		
		$10\leq f_1 < 20$	4		
		$f_1\geq 20$	1		
	轴向沟槽金属损失	$f_1 < 7$	10	H_4	
		$7\leq f_1 < 10$	8		
		$10\leq f_1 < 20$	4		
		$f_1\geq 20$	1		
	环向沟纹金属损失	$f_1 < 7$	10	H_5	
		$7\leq f_1 < 10$	8		
		$10\leq f_1 < 15$	4		
$f_1\geq 15$		1			
环向沟槽金属损失	$f_1 < 7$	10	H_6		
	$7\leq f_1 < 10$	8			
	$10\leq f_1 < 15$	4			
	$f_1\geq 15$	1			

表 E.5 漏磁内检测器金属损失类型管体常规缺陷深度精度性能评价

漏磁内检测器金属损失类型管体常规缺陷深度精度性能评价 (40分)	缺陷类型	深度精度	对应分值	分项得分	合计 (D ₃)
	一般金属损失	$f_1 < 5\%t$	10	I ₁	$D_3=40\times (I_1+I_2+I_3+I_4+I_5+I_6)/60$
		$5\%t\leq f_1 < 10\%t$	8		
		$10\%t\leq f_1 < 15\%t$	4		
		$f_1\geq 15\%t$	1		
	坑状金属损失	$f_1 < 5\%t$	10	I ₂	
		$5\%t\leq f_1 < 10\%t$	8		
		$10\%t\leq f_1 < 15\%t$	4		
		$f_1\geq 15\%t$	1		
	轴向沟纹金属损失	$f_1 < 8\%t$	10	I ₃	
		$8\%t\leq f_1 < 15\%t$	8		
		$15\%t\leq f_1 < 20\%t$	4		
		$f_1\geq 20\%t$	1		
	轴向沟槽金属损失	$f_1 < 8\%t$	10	I ₄	
		$8\%t\leq f_1 < 15\%t$	8		
		$15\%t\leq f_1 < 20\%t$	4		
		$f_1\geq 20\%t$	1		
	环向沟纹金属损失	$f_1 < 8\%t$	10	I ₅	
		$8\%t\leq f_1 < 15\%t$	8		
		$15\%t\leq f_1 < 20\%t$	4		
		$f_1\geq 20\%t$	1		
	环向沟槽金属损失	$f_1 < 8\%t$	10	I ₆	
		$8\%t\leq f_1 < 15\%t$	8		
		$15\%t\leq f_1 < 20\%t$	4		
$f_1\geq 20\%t$		1			

注: t 为管子正常壁厚, 单位为毫米 (mm)。

表 E.6 漏磁内检测器金属损失类型管体常规缺陷检测概率 (POD) 性能评价

漏磁内检测器金属损失类型管体常规缺陷检测概率性能（POD）评价（10分）	缺陷类型	检测概率（POD）	对应分值	分项得分	合计（J）
	一般金属损失	POD≥90%	10	J ₁	J=10× (J ₁ +J ₂ +J ₃ +J ₄ + J ₅ +J ₆) /60
		90% > POD≥80%	8		
		80% > POD≥60%	6		
		60% > POD	0		
	坑状金属损失	POD≥90%	10	J ₂	
		90% > POD≥80%	8		
		80% > POD≥60%	6		
		60% > POD	0		
	轴向沟纹金属损失	POD≥90%	10	J ₃	
		90% > POD≥80%	8		
		80% > POD≥60%	6		
		60% > POD	0		
	轴向沟槽金属损失	POD≥90%	10	J ₄	
		90% > POD≥80%	8		
		80% > POD≥60%	6		
		60% > POD	0		
	环向沟纹金属损失	POD≥90%	10	J ₅	
		90% > POD≥80%	8		
		80% > POD≥60%	6		
		60% > POD	0		
	环向沟槽金属损失	POD≥90%	10	J ₆	
		90% > POD≥80%	8		
		80% > POD≥60%	6		
60% > POD		0			

表 E.7 内检测器金属损失类型管体常规缺陷识别概率 (POI) 性能评价

漏磁内检测器 金属损失类型 管体常规缺陷 识别概率(POI) 性能评价 (10 分)	缺陷类型	缺陷识别概率 (POI)	对应分值	分项得分	合计 (P)
	一般金属损失	POI≥90%	10	P ₁	P=10× (P ₁ +P ₂ + P ₃ + P ₄ + P ₅ + P ₆) /60
		90% > POI≥80%	8		
		80% > POI≥60%	6		
		60% > POI	0		
	坑状金属损失	POI≥90%	10	P ₂	
		90% > POI≥80%	8		
		80% > POI≥60%	6		
		60% > POI	0		
	轴向沟纹金属 损失	POI≥90%	10	P ₃	
		90% > POI≥80%	8		
		80% > POI≥60%	6		
		60% > POI	0		
	轴向沟槽金属 损失	POI≥90%	10	P ₄	
		90% > POI≥80%	8		
		80% > POI≥60%	6		
		60% > POI	0		
	环向沟纹金属 损失	POI≥90%	10	P ₅	
		90% > POI≥80%	8		
		80% > POI≥60%	6		
60% > POI		0			
环向沟槽金属 损失	POI≥90%	10	P ₆		
	90% > POI≥80%	8			
	80% > POI≥60%	6			
	60% > POI	0			

表 E.8 漏磁内检测器热影响区金属损失类型缺陷检测概率 (POD) 性能评价

	金属损失缺陷类型	检测概率 (POD)	对应分值	合计 (B)
漏磁内检测器热影响区金属损失类型缺陷检测概率 (POD) 性能评价 (70 分)	坑状金属损失	$POD \geq 90\%$	70	B
		$90\% > POD \geq 80\%$	60	
		$80\% > POD \geq 60\%$	50	
		$60\% > POD \geq 40\%$	30	
		$40\% > POD$	0	

表 E.9 漏磁内检测器热影响区金属损失类型缺陷识别概率 (POI) 性能评价

	金属损失缺陷类型	缺陷识别概率 (POI)	对应分值	合计 (C)
漏磁内检测器热影响区金属损失类型缺陷识别概率 (POI) 性能评价 (30 分)	坑状金属损失	$POI \geq 90\%$	30	C
		$90\% > POI \geq 80\%$	20	
		$80\% > POI \geq 60\%$	10	
		$60\% > POD \geq 40\%$	5	
		$40\% > POD$	0	

表 E.10 漏磁内检测器金属损失类型焊缝缺陷检测概率 (POD) 性能评价

	焊缝缺陷类型	检测概率（POD）	对应分值	分项得分	合计（K）
漏磁内检测器金属损失类型焊缝缺陷检测概率（POD）性能评价（70分）	咬边	POD≥90%	10	K ₁	K=70× （ K ₁ +K ₂ +K ₃ +K ₄ + K ₅ ）/50
		90% > POD≥70%	8		
		70% > POD≥50%	6		
		50% > POD	1		
	内凹	POD≥90%	10	K ₂	
		90% > POD≥70%	8		
		70% > POD≥50%	6		
		50% > POD	1		
	圆缺	POD≥90%	10	K ₃	
		90% > POD≥70%	8		
		70% > POD≥50%	6		
		50% > POD	1		

表 E.10 漏磁内检测器金属损失类型焊缝缺陷检测概率 (POD) 性能评价 (续)

	焊缝缺陷类型	检测概率（POD）	对应分值	分项得分	合计（K）
漏磁内检测器金属损失类型焊缝缺陷检测概率（POD）性能评价（70分）	条缺	POD≥90%	10	K ₄	K=70× （K ₁ +K ₂ +K ₃ +K ₄ + K ₅ ）/50
		90%＞POD≥70%	8		
		70%＞POD≥50%	6		
		50%＞POD	1		
	焊缝上金属损失	POD≥90%	10	K ₅	
		90%＞POD≥70%	8		
		70%＞POD≥50%	6		
		50%＞POD	1		

表 E.11 漏磁内检测器金属损失型焊缝缺陷识别概率 (POI) 性能评价

漏磁内检测器金属损失型焊缝缺陷识别概率（POI）性能评价（30分）	缺陷名称	缺陷识别概率（POI）	对应分值	分项得分	合计（Q）
	咬边	POI≥90%	10	Q ₁	$Q=30\times(Q_1+Q_2+Q_3+Q_4+Q_5)/50$
		90%＞POI≥70%	8		
		70%＞POI≥50%	6		
		50%＞POI	1		
	内凹	POI≥90%	10	Q ₂	
		90%＞POI≥70%	8		
		70%＞POI≥50%	6		
		50%＞POI	1		
	条缺	POI≥90%	10	Q ₃	
		90%＞POI≥70%	8		
		70%＞POI≥50%	6		
		50%＞POI	1		
	圆缺	POI≥90%	10	Q ₄	
		90%＞POI≥70%	8		
		70%＞POI≥50%	6		
		50%＞POI	1		
	焊缝上金属损失	POI≥90%	10	Q ₅	
		90%＞POI≥70%	8		
		70%＞POI≥50%	6		
50%＞POI		1			

表 E.12 漏磁内检测针孔类型缺陷最小检测直径性能评价

漏磁内检测器针孔类型缺陷最小检测直径性能评价 (40分)	深度	最小检测直径/mm	对应分值	分项得分	合计 (M)
	100% <i>t</i>	3	15	<i>M</i> ₁	$\begin{aligned} M &= 40 \\ & (M_1 + M_2 + M_3 + M_4) \\ & / 60 \end{aligned}$
		5	10		
		7	5		
		9	1		
	50% <i>t</i>	3	15	<i>M</i> ₂	
		5	10		
		7	5		
		9	1		
	35% <i>t</i>	3	15	<i>M</i> ₃	
		5	10		
		7	5		
		9	1		
	20% <i>t</i>	3	15	<i>M</i> ₄	
		5	10		
		7	5		
9		1			

表 E.13 漏磁内检测器针孔金属损失缺陷检测概率 (POD) 性能评价

	金属损失缺陷类型	检测概率 (POD)	对应分值	合计 (N)
漏磁内检测器针孔类型缺陷检测概率 (POD) 性能评价 (40 分)	针孔	POD ≥ 90%	40	<i>N</i>
		90% > POD ≥ 80%	30	
		80% > POD ≥ 60%	20	
		60% > POD ≥ 40%	10	
		40% > POD	5	

表 E.14 漏磁内检测器针孔类型缺陷识别概率 (POI) 性能评价

	金属损失缺陷类型	缺陷识别概率 (POI)	对应分值	合计 (R)
漏磁内检测器针孔类型缺陷识别概率 (POI) 性能评价 (20 分)	针孔	POI ≥ 90%	20	<i>R</i>
		90% > POI ≥ 80%	15	
		80% > POI ≥ 60%	10	
		60% > POI ≥ 40%	5	
		40% > POI	1	

表 E.15 漏磁内检测器特征定位精度性能评价

	定位内容	精度绝对值（ k ）	对应分值	分项得分	合计（ T ）
漏磁内检测器特征定位精度性能评价 (100分)	环向定位精度（°）	$k < 5^{\circ}$	30	T_1	$T=T_1+T_2+T_3+T_4$
		$5^{\circ} \leq k < 10^{\circ}$	20		
		$10^{\circ} \leq k < 30^{\circ}$	10		
		$30^{\circ} \leq k < 50^{\circ}$	5		
		$k \geq 50^{\circ}$	1		
	特征与相邻环焊缝距离误差 mm	$k < 50 \text{ mm}$	20	T_2	
		$50 \text{ mm} \leq k < 100 \text{ mm}$	15		
		$100 \text{ mm} \leq k < 150 \text{ mm}$	10		
		$150 \text{ mm} \leq k < 200 \text{ mm}$	5		
		$k \geq 200 \text{ mm}$	1		
	参考焊缝与参考点之间的距离误差 mm	$k < 0.05\% d^{\text{a}}$	30	T_3	
		$0.05\% d \leq k < 0.1\% d$	20		
		$0.1\% d \leq k < 0.15\% d$	10		
		$0.15\% d < k \leq 0.3\% d$	5		
		$k > 0.3\% d$	1		
	ID/OD 区分准确率	$k \geq 90\%$	20	T_4	
		$90\% > k \geq 70\%$	15		
		$70\% > k \geq 60\%$	10		
		$60\% > k \geq 50\%$	5		
		$50\% > k$	1		
	^a d 为定标距离。				

附录 F
(资料性)
计算示例

F.1 环向间距

F.1.1 环向间距可采用基于主探头单轴通道数的平均间距或基于探头物理结构的环向间距。

F.1.2 基于探头和检测器物理结构的间距方法计算如图 F.1 所示,单个探头中相邻采集单元间距为 L_2 ,当检测器探头压缩至检测管道内径时,相邻探头内采集单元间距为 L_3 ,环向间距取 L_2 和 L_3 中最大值,即环向间距 $d=\max(L_2, L_3)$ 。

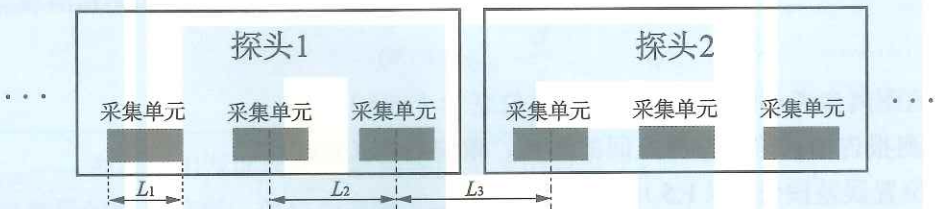


图 F.1 压缩状态下相邻探头结构

F.1.3 平均间距方法,假设某待测管道外径为 R ,公称壁厚为 t ,三轴检测器主探头的单轴通道数为 n 个,则检测器的环向间距为:

$$d = \frac{\pi(R - 2t)}{n} \quad \dots\dots\dots (F.1)$$

F.2 轴向采样间距

F.2.1 周向采样间距分为,基于时间频率的采样间距和基于里程脉冲触发的采样间距,可根据对应的采样方式计算采样间距。

F.2.2 基于时间频率轴向采样的检测器是通过单位时间采样个数和行走距离确定轴向采样间距,即检测器行进速度和采样频率的比值。

F.2.3 基于里程脉冲触发采样的检测器,通过测量里程轮脉冲结构的间距确认轴向采样间距。

F.3 通道等效里程丢失

在牵拉试验中假设检测器同一类型有 M 个通道, X 、 Y 、 Z 及 ID/OD 类型数据分别存在部分丢失,对应丢失信号里程分别为 L_1 、 L_2 、..... L_n ,则该类型等效丢失里程。

$$L_i = \frac{L_1 + L_2 + \dots L_n}{M} \quad \dots\dots\dots (F.2)$$

式中:
 L_i ——该类型等效丢失里程, $i=X$ 、 Y 、 Z 、ID/OD, 单位为米 (m);
 L_n ——单个通道丢失里程, 单位为米 (m);
 M ——检测器该类型的通道数。

对每个类型数据进行信号丢失量统计后,再计算通道数据等效丢失里程作为评估依据:

$$L = \frac{L_x + L_y + L_z + L_{ID/OD}}{4} \quad \dots\dots\dots (F.3)$$

式中:

L ——通道等效丢失里程,单位为米(m);

L_x —— X 轴等效丢失里程,单位为米(m);

L_y —— Y 轴等效丢失里程,单位为米(m);

L_z —— Z 轴等效丢失里程,单位为米(m);

$L_{ID/OD}$ ——内外壁等效丢失里程,单位为米(m)。

F.4 里程及环向误差

F.4.1 漏磁内检测器在管道内运行过程中,里程不可避免出现累积误差,里程误差按公式(F.4)表示:

$$error_L = L_1 - L \quad \dots\dots\dots (F.4)$$

式中:

L ——缺陷距离参考点间的真实距离,单位毫米(mm);

L_1 ——检测报告中缺陷与参考点间的距离,单位毫米(mm)。

F.4.2 环向位置误差按公式(F.5)表示:

$$error_h = h_1 - h \quad \dots\dots\dots (F.5)$$

式中:

h ——缺陷的实际环向位置,单位为度(°);

h_1 ——检测报告中缺陷环向位置,单位为度(°)。

F.5 检测器性能验证

F.5.1 单点检测器检测结果验证

F.5.1.1 以管道某一金属损失深度尺寸为例,内检测器检测的缺陷深度与人工缺陷测量得深度百分比差值按公式(F.6)表示:

$$e = (d/t)_{IN} - (d/t)_{FM} \quad \dots\dots\dots (F.6)$$

式中:

e ——内检测测量与现场评价的缺陷相对深度尺寸百分比差值;

d ——缺陷深度尺寸,单位为毫米(mm);

t ——管道壁厚,单位为毫米(mm);

$(d/t)_{IN}$ ——内检测器测量的缺陷深度尺寸百分比;

$(d/t)_{FM}$ ——人工缺陷测量的缺陷深度尺寸百分比。

当采用超声测厚等手段通过检测管道剩余壁厚值来确定管道缺陷深度尺寸的百分比时,按公式(F.7)表示:

$$(d/t)_{FM,UT} = \frac{t - t_s}{t} \quad \dots\dots\dots (F.7)$$

式中:

$(d/t)_{FM,UT}$ ——表示缺陷深度尺寸的百分比;

t ——管道正常壁厚,单位为毫米(mm);

t_s ——管道剩余壁厚,单位为毫米(mm)。

基于误差传递,得到超声现场测量相对深度的标准按公式(F.8)表示:

$$\sigma_{(d/t)_{FM,UT}} = \frac{1}{t} \sqrt{\left(\frac{t_s}{t}\right)^2 \sigma_s^2 + \sigma_{ts}^2} \quad \text{..... (F.8)}$$

式中:

$\sigma_{(d/t)_{FM,UT}}$ ——超声现场测量人工缺陷或自然缺陷相对深度的标准差;

t ——采用超声方法管道壁厚测量结果,单位为毫米(mm);

t_s ——管道剩余壁厚,单位为毫米(mm);

σ_s ——管道正常壁厚测量结果的标准差,由现场测量的方法和方式确定;

σ_{ts} ——管道缺陷深度测量结果的标准差,由现场测量的方法和方式确定。

采用深度尺等手段直接测量人工缺陷或真实金属损失深度时,原始壁厚仍然由超声测厚方法得到,管道缺陷的相对深度按公式(F.9)表示:

$$(d/t)_{FM,AD} = \frac{d}{t} \quad \text{..... (F.9)}$$

式中:

$(d/t)_{FM,AD}$ ——表示使用深度尺测量缺陷深度尺寸的百分比;

t ——超声测量的管道壁厚,单位为毫米(mm);

d ——表示深度尺测量的管道缺陷深度,单位为毫米(mm)。

基于误差传递,得到深度尺测量缺陷相对深度的标准差按公式(F.10)表示:

$$\sigma_{(d/t)_{FM,AD}} = \frac{1}{t} \sqrt{\left(\frac{d}{t}\right)^2 \sigma_t^2 + \sigma_d^2} \quad \text{..... (F.10)}$$

式中:

$\sigma_{(d/t)_{FM,AD}}$ ——表示深度尺测量缺陷相对深度的标准差;

t ——超声测量的管道壁厚,单位为毫米(mm);

d ——深度尺测量的管道缺陷深度,单位为毫米(mm);

σ_t ——管道正常壁厚测量结果的标准差,依赖于现场测量的方法和方式;

σ_d ——管道缺陷深度测量结果的标准差,依赖于现场测量的方法和方式。

测量误差可以假设服从正态分布,现场测量误差、内检测器测量的误差可以转换为指定置信度 $(1-\alpha)$ 下的公差,按公式(F.11)表示:

$$\delta_{(d/t)_{FM}} = Z_\alpha \sigma_{(d/t)_{FM}} \quad \text{..... (F.11)}$$

式中:

$\delta_{(d/t)_{FM}}$ ——现场测量深度的公差;

α ——显著性水平;

Z_α ——为标准正太分布的双侧临界值,由标准正态分布表得到;

$\sigma_{(d/t)_{FM}}$ ——现场测量缺陷相对深度的标准差。

示例:

现场测量的误差以正态分布给出时,可信度为80%时,则 $\alpha=0.2$,由标准正太分布双侧临界值表查得 $Z_\alpha=1.28$;可信度为90%时,则 $\alpha=0.1$,由标准正太分布双侧临界值表查得 $Z_\alpha=1.64$ 。

被测试内检器测量相对深度的公差 $\delta_{(d/t)IN}$ 由内检测器性能规格给出, 内检测和现场测量组合后的公差按公式 (F.12) 表示。计算时两者需要使用同样的可信度。

$$\delta_{cc} = \sqrt{\delta_{(d/t)IN}^2 + \delta_{(d/t)FM}^2} \quad \text{..... (F.12)}$$

式中:

δ_{cc} ——组合后的公差;

$\delta_{(d/t)IN}$ ——内检测器测量缺陷相对深度的公差;

$\delta_{(d/t)FM}$ ——人工缺陷现场测量相对深度的公差, 由公式 (F.11) 给出。

F.5.1.2 使用公式 (F.13) 进行比较。如果公式 (F.13) 成立, 则内检测单点评价测量的结果超出公差, 结论为不合格; 反之, 则结果在公差内, 结论为符合。

$$|e| > \delta_{cc} \quad \text{..... (F.13)}$$

式中:

e ——内检测器测量的管道缺陷深度尺寸与现场测量的差异;

δ_{cc} ——组合后的公差。

F.5.1.3 表 2 给出了单点评价测量的 5 组示例, 表中被测试内检测器给出的性能规格可信度为 80%, 通过计算可以得到是否符合的结论。

表 2 单点验证测量的示例

内检测报告		超声现场测量值							对比		是否 符合
$(d/t)_{ILI}$ %t	$\delta_{(d/t)ILI}$ %	t/mm	σ_t /mm	t_s /mm	σ_{ts} /mm	D/mm	$(d/t)_{FM}$ %	$\sigma_{(d/t)FM}$ %	e %	δ_{cc} %	
测量值	规定值	测量值	规定值	测量值	规定值	计算值	计算值	计算值	计算值	计算值	
42	±10	6.4	0.15	3.0	0.25	3.4	53.1	4.1	11.1	11.3	是
57	±12	8.2	0.15	2.5	0.25	5.7	69.5	3.1	12.5	12.6	是
21	±5	4.9	0.15	4.3	0.25	0.6	12.2	5.8	8.8	8.9	是
33	±10	6.3	0.15	4.0	0.25	2.3	36.5	4.2	3.5	11.4	是
33	±10	6.3	0.15	5.8	0.25	0.5	7.9	4.5	25.1	11.6	否

F.5.2 基于统计学的性能规格验证

F.5.2.1 在大量单点验证测量比较的基本上, 可以进行基于统计学的性能规格验证, 计算被测试内检测器的估计可信度边界, 与其性能规格中的可信度进行比较, 得出是否符合结论。

在总共 n 组单点评价测量中, 由 X 组评价结论为符合, 在置信度 $(1-\alpha)$ 下的估计可信度上限按公式 (F.14), 下限按公式 (F.15) 得到:

$$\hat{p}_{upper} = \hat{p} + Z_{\alpha/2} \sqrt{\frac{\tilde{p}(1-\tilde{p})}{n + Z_{\alpha/2}^2}} \times 100\% \quad \text{..... (F.14)}$$

$$\hat{p}_{lower} = \tilde{p} - Z_{\alpha/2} \sqrt{\frac{\tilde{p}(1-\tilde{p})}{n + Z_{\alpha/2}^2}} \times 100\% \quad \text{..... (F.15)}$$

$$\tilde{p} = \frac{X + \frac{Z_{\alpha/2}^2}{2}}{n + Z_{\alpha/2}^2} \quad \text{..... (F.16)}$$

式中:

$\hat{p}_{upper}$ ——内检测器的估计可信度的上限;

$\hat{p}_{lower}$ ——内检测器的估计可信度的下限;

n ——单点评价的总数量;

X ——单点评价测量中结论为符合的数量;

$Z_{\alpha/2}$ —— $\alpha/2$ 分位数的取值, 由标准正态分布表得到。

使用 $\hat{p}_{upper}$ 和 $\hat{p}_{lower}$ 分别和检测器性能规范提供的可信度 p 进行比较, 判断可信度是否符合。如果 $\hat{p}_{upper}$ 小于 p , 则测量的数据尺寸可信度不满足性能规格。如果 $\hat{p}_{lower} < p < \hat{p}_{upper}$, 则测量的数据尺寸可信度可能满足性能规格, 可通过增加检测样本数量, 重新计算可信度上下限。如果 p 小于 $\hat{p}_{lower}$, 则测量的数据尺寸可信度满足可信度性能规格。

F.5.2.2 假定被测试内检测器性能规格给出的置信度为 90%, 可信度 $p=80\%$, 给出 3 个检验示例如下:

- a) 假定总共为 10 组单点评价测量中, 5 组结论为符合, 则计算出可信度 $\hat{p}_{lower}=0.27$, $\hat{p}_{upper}$ 为 0.73, $\hat{p}_{upper} < p$, 则结果不符合。
- b) 假定总共 25 组单点评价测量中, 18 组结论为符合, 则计算出 $\hat{p}_{lower}=0.59$, $\hat{p}_{upper}$ 为 0.84, $\hat{p}_{lower} < p < \hat{p}_{upper}$, 则结果可能符合。需要增加样本数量, 减少置信区间的宽度, 重新计算可信度上限和下限。
- c) 假定总共 44 组单点评价测量中, 42 组结论为符合, 则计算出 $\hat{p}_{lower}=0.89$, $\hat{p}_{upper}$ 为 0.99, $\hat{p}_{lower} > p$, 则结果符合。

F.6 POD 和 POI 评价

POD 和 POI 分别表示待测试内检测器的检测概率和识别概率, 参考公式 (F.17) 和公式 (F.18):

$$POD = N_1 / N \quad \dots\dots\dots (F.17)$$

$$POI = N_2 / N_1 \quad \dots\dots\dots (F.18)$$

式中:

N ——表示缺陷样管中缺陷的总数量;

N_1 ——表示内检测器检测出的缺陷数量;

N_2 ——表示正确识别的缺陷数量。



标准实施反馈与服务

中国特种设备检验协会团体标准
油气管道内检测器测试与评价
第2部分：漏磁检测器

T/CASEI 021—2023

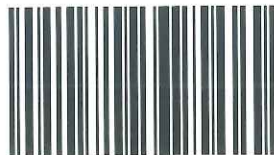
*

北京科学技术出版社出版发行
(北京西直门南大街16号 邮编：100035)

新华书店经销

河北泓景印刷有限公司印刷

版权专有 不得翻印



155714454

开本 880×1230 1/16 印张 2.25 字数 34 千字

2023年7月第1版 2023年7月第1次印刷

*

书号：155714·454 定价：50.00 元