

团体标准

T/CASEI xxxxx-xxxx

油气管道内检测器性能测试与评估

Oil and Gas Pipeline In-line Inspection Systems Performance

Test and Evaluation Criteria

(征求意见稿)

xxxx-xx-xx 发布

xxxx-xx-xx 实施

中国特种设备检验协会 发布

目 次

油气管道内检测器性能测试与评价.....1

1 范围.....1

2 规范性引用文件.....1

3 术语和定义.....1

4 人员要求.....3

5 性能测试与评价内容.....4

 5.1 性能测试与评价流程.....4

 5.2 牵拉实验准备.....5

 5.3 性能参数确认.....5

6 测试条件.....6

 6.1 牵引试验台硬件.....6

 6.2 牵引速度.....7

7 牵引测试.....7

 7.1 漏磁内检测器参数确认.....7

 7.2 牵引测试操作.....8

8 检测数据质量评估及分析识别.....8

 8.1 人员要求.....8

 8.2 检测数据测试.....8

 8.3 缺陷及特征识别与定位能力比对.....9

9 性能评价程序及报告.....10

 9.1 缺陷检测阈值评价.....10

 9.2 缺陷检测概率（POD）.....11

 9.3 缺陷识别概率（POI）.....12

 9.4 检测数据置信度.....12

 9.5 里程及钟点误差.....15

 9.6 性能测试评价.....16

附 录 A （规范性附录） 油气管道金属损失类型定义18

附 录 B （规范性附录） 测试条件要求19

附 录 C （规范性附录） 测试试验实施24

附 录 D （规范性附录） 性能评价实施25

附 录 E （规范性附录） 测试与评价报告27

前 言

本标准按照 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。

本标准由中国特种设备检验协会提出并归口。

本标准主要起草单位：略

本标准参与起草单位：略

本标准主要起草人： 略

本标准为首次发布。

油气管道内检测器性能测试与评价

1 范围

本标准规定了采用牵引方式测试与评价漏磁内检测性能的一般要求和内容,适用于油气管道漏磁内检测系统对缺陷的检测概率、识别概率和综合性能的测试与评价。

2 规范性引用文件

下列法规标准的内容通过文中而规范性引用而构成本标准必不可少的条款。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。

对于本标准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(包括所有的修定版)适用于本文件。

GB 3100 国际单位制及其应用

GB/T3101 有关量、单位和符号的一般原则

GB/T3102 (所有部分)量和单位

GB/T 12604 无损检测术语

GB/T 15834 标点符号用法

GB/T 20737 无损检测通用术语和定义

GB/T 34357 无损检测 术语 漏磁检测

NB/T47013 承压设备无损检测

TSG D7003 压力管道定期检验规则 长输(油气)管道

GB/T 27699 钢质管道内检测技术规范

GB 32167 油气输送管道完整性管理规范

SY/T 6597 油气管道内检测技术规范

3 术语和定义

GB/T12604、GB/T20737、GB/T34357和NB/T47013等标准界定的术语和定义适用于本文件。以下术语和定义适合本规定。

3.1

验证 Validation

根据检验数据(例如现场测量)复核内检测的结果。

3.2

验证测量 Verification measurement

对检测的异常及特征尺寸进行的测量。

3.3

测量阈值 Measurement threshold

能够被测量的异常及特性最小尺寸。

3.4

评估报告 Evaluation report

向被测试方提供的报告,包括漏磁内检测系统的缺陷检出率、识别概率和综合评价内容。

3.5

置信区间 Confidence interval

一个统计术语,用于描述陈述的总体参数的估计区间。

3.6

置信度 Confidence.

置信水平是指总体参数值落在样本统计值某一区内的概率。

3.7

确认 Verification

检查漏磁内检测系统操作过程是否按预期执行的行为。

3.8

量化精度 Sizing accuracy

报告异常或特性的尺寸精度。例如,金属损失深度的量化精度通常以正常壁厚的 $\pm 10\%$,置信度 80%表示。

3.9

验证程序 Identification (system)

通过测试和分析,验证漏磁内检测系统性能规范的程序。

3.10

(人员)资质 Personnel qualification

人员履行某项特定工作职责所要求具备的技术和知识,并具有培训证书和经验。

3.11

检测概率 Probability of detection(POD)

在给定环境条件下,由具备资质且熟练的检测人员按给定的设备和工艺文件对试件进行检测,所能检测出的缺陷占缺陷总数的比例。

3.12

识别概率 Probability of identification(POI)

能够正确识别被检测到的异常或其他特征的概率。

3.13

证明 Certification

资质的书面凭证。

3.14

特性 Characteristic

管道(例如等级、壁厚和制造方法) 或异常(例如类型、尺寸和形状)的物理描述。

3.15

分类 Classify

对检测信号(如异常、无关联信号、特性、部件或瑕疵 / 缺陷类型)成因的识别。

3.16

数据分析 Data analysis

对检测信号进行分类和表征的过程。

3.17

性能规范 Performance specification

用于确定漏磁内检测系统检测、分类、识别特征能力的书面报告。

4 人员要求

依据本标准参与漏磁内检测器性能牵拉测试与评价的技术人员,需持有国家市场监督管理总局颁发的特种设备无损检测 MFL- II 资质证书,其中:

- a) 参与性能牵拉测试人员:须持有 MFL- II 资质证书 2 年及以上;
- b) 参与性能牵拉测试数据分析人员:须持有 MFL- II 资质证书,且须有 3 年及以上数据分析经验;
- c) 报告审核人:须同时持国家市场监督管理总局颁发的检测师资格证(DS)和 MFL- II 资质证书。

5 性能测试与评价内容

5.1 性能测试与评价流程

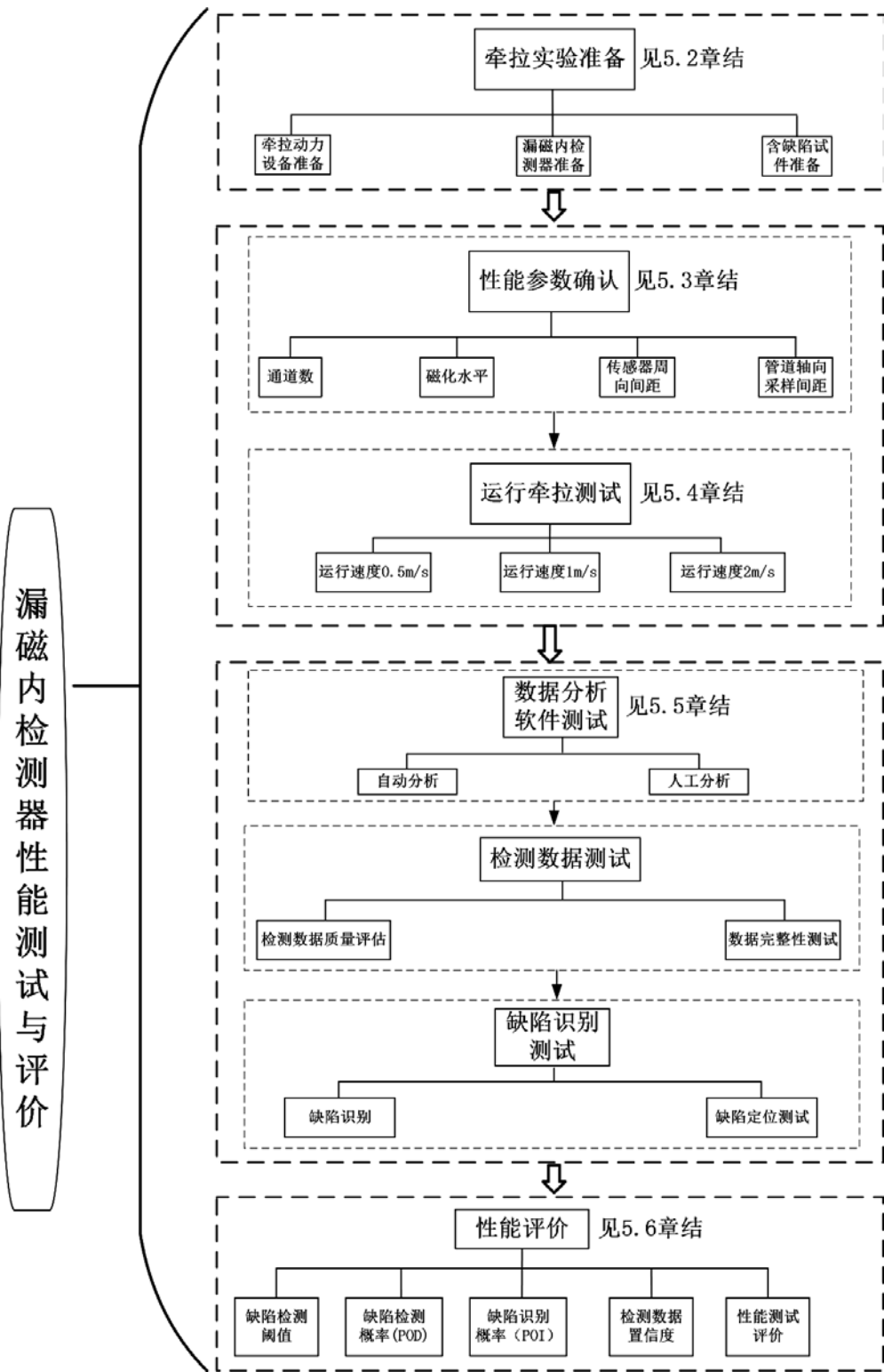


图 1 内检测器性能测试与评价流程

5.2 牵拉实验准备

牵拉实验前实验准备主要包括：

- d) 牵拉动力设备；
- e) 待测试漏磁内检测器；
- f) 含缺陷试件；
- g) 辅助机具等。

5.3 性能参数确认

5.3.1 漏磁内检测器工作参数的确认信息包括：

- a) 信号通道数确认；
- b) 依据同一个感知方向检测传感器数量，确定漏磁内检测器该方向的通道数；
- c) 磁化方向及水平确认；
- d) 依据漏磁内检测器磁化结构，确认内检测器的磁化方向；
- e) 测试漏磁内检测器对目标试件的磁化水平。

5.3.2 周向间距确认

依据漏磁内检测器的周向通道数、规格尺寸和探头间距，确定周向间距。其中探头中传感器周向间距为 l_1 ，探头与探头之间传感器周向间距为 l_2 。

- a) 若 l_1 大或等于 l_2 ，则传感器周向间距为 l_1 ；
- b) 若 l_1 小于 l_2 ，则传感器周向间距为 l_2 。

5.3.3 轴向采样间距

- a) 轴向采样是基于时间频率，计算不同牵拉速度下的轴向采样间距 d ，即

$$d = \frac{v}{f} \dots\dots\dots (1) \# \#$$

#

式中： d —采样间距的数值，单位为毫米（mm）；

v —牵拉速度的数值，单位为米每秒（mm/s）；

f —时间频率的数值，单位为赫兹（Hz）。

- b) 轴向采样是基于里程脉冲触发，测量里程轮脉冲结构的间距，确定漏磁内检测器的轴向采样间距的。

5.4 数据完整性检查、特征及缺陷识别

数据完整性检查、特征及缺陷识别由被测试方完成，其内容如下：

- a) 数据完整性及质量检查包括：
 - 检测数据质量评估；
 - 检测数据完整性检查。
- b) 特征及缺陷识别包括：
 - 根据漏磁内检测数据，识别与量化管道特征、金属损失、裂纹、焊缝异常等不同类型的缺陷；
 - 根据漏磁内检测数据，确定缺陷和特征的里程及钟点方位。

5.5 漏磁内检测器性能评价

SY/T 6597 等标准选定的对漏磁内检测器性能评价因素适用于本文件。对漏磁内检测器性能评价包括：

- a) 漏磁内检测器的缺陷检测阈值；
- b) 漏磁内检测器的缺陷检测概率（POD）评价；
- c) 漏磁内检测器的缺陷识别概率（POI）评价；
- d) 漏磁内检测器的缺陷检测数据置信度评价；
- e) 漏磁内检测器综合性能评价。

6 测试条件

6.1 牵引试验台硬件

6.1.1 牵引动力设备

牵引动力设备处于正常运行状态。

6.1.2 管道漏磁内检测器

- a) 待测试的管道漏磁内检测设备，包括：电池、磁化单元、检测探头、信号采集单元、信号存储单元、皮碗等；
- b) 核查待测试漏磁内检测器功能。

6.1.3 牵引测试缺陷样管

- a) 图 2 为漏磁内检测器性能测试牵引缺陷样管示意图，按照牵引的不同阶段，缺陷样管段分为加速管段、标样管段、减速管段三部分。



图 2 漏磁内检测器性能测试牵引样管示意图

- b) 根据待测试漏磁内检测器的规格，匹配相应规格的缺陷样管。需制作不同类型的含缺陷样管，如图 3 所示，主要管道缺陷主要包含：金属损失（类型及定义见附录 A. 1）、焊缝缺陷、裂纹等。金属损失、焊缝缺陷、裂纹相关尺寸参数见附录 B. 1、B. 2、B. 3。
- c) 牵引样管相邻缺陷轴向和周向间距应大于较大缺陷的轴向或周向尺寸的两倍且不小于 30mm；除特定临近焊缝缺陷外，缺陷与焊缝、法兰的距离应大于 30mm；

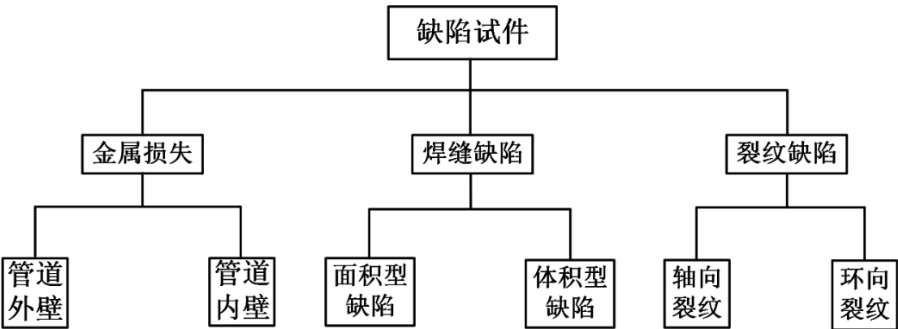


图 3 缺陷类型

6.2 牵引速度

牵引装置需满足漏磁内检测器运行一般速度范围：0.1~5m/s。

6.3 牵引力

要求牵引装置的牵引力满足 $\Phi 159$ — $\Phi 1219$ 等不同规格内检测器牵拉实验。牵拉设备的额定牵引力大于待测漏磁内检测器的运行最大阻力。

6.4 环境温度

一般要求环境温度：-20℃~ +40℃。

6.5 牵引操作场地

牵引操作场地需满足性能测试的空间要求，具备漏磁内检测器牵引收球、牵引发球等必要的操作空间。

7 牵引测试

7.1 漏磁内检测器参数确认

确认管道漏磁内检测器规格参数，并填写附录表 C.1 漏磁内检测器参数确认表，包括：

a) 几何参数确认

漏磁内检测器总长度、节数、各节长度、各节功能、皮碗厚度、皮碗过盈量等参数。

b) 采集通道数确认

漏磁内检测器周向、轴向和径向通道数。

c) 传感器周向间距

依据漏磁内检测器的周向通道数、规格尺寸和探头间距，确定周向间距。其中探头中传感器周向间距为 l_1 ，探头与探头之间传感器周向间距为 l_2 。若 l_1 大等或等于 l_2 ，则传感器周向间距为 l_1 ；若 l_1 小于 l_2 ，则传感器周向间距为 l_2 。相邻信号采集模块如图 7.1 所示，通过以下公式计算内检测器上两个相邻信号采集模块间的周向间距：

$$a = \frac{2\pi r - nl}{n} \# \dots \dots \dots (2) \#$$

式中， a —表示相邻传感器之间的周向间距的数值，单位毫米（mm）；

r —表示待测管道的内径的数值，单位毫米（mm）；

n —表示单排内检测器布置的采集模块数量个数，单位个；

l —表示单个传感器的周向长度的数值，单位毫米（mm）。

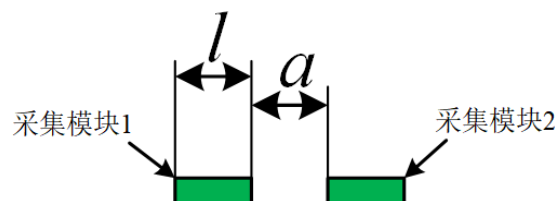


图 2 相邻信号采集模块示意图

- d) 磁化方向和磁化水平确认
 - 依据永磁体的布置方式确认是轴向磁化、环向磁化或螺旋磁化；
 - 测试漏磁内检测器对目标试件的磁化水平。
- e) 管道轴向采样间距
 - 轴向采样是基于时间频率，则计算不同牵拉速度下的轴向采样间距 d ，即

$$d = \frac{v}{f} \dots\dots\dots (3)$$

式中， v 采样速率，单位为米每秒（mm/s）；

f 采样频率，单位为（Hz）；

- 轴向采样是基于里程脉冲触发，测量里程轮脉冲结构的间距，确定漏磁内检测器的轴向采样间距。

7.2 牵引测试操作

- a) 牵引准备

确认漏磁内检测器处于正常工作状态，并装入对应规格样管发球端，连接漏磁内检测器牵引端和牵引机构。
- b) 牵引运行

启动牵引系统，使漏磁内检测器在样管中前进，牵引速度分别为：0.5m/s、1m/s、2m/s，漏磁内检测器经过含缺陷管段时，在预期速度下匀速运行。
- c) 牵引收球

接收漏磁内检测器，检查漏磁内检测设备外观。
- d) 导出检测数据

导出漏磁内检测器采集的数据，依据8.2.1章节确认数据的完整性和质量。
- e) 连续牵引

若采集的数据质量达到检测商的要求，则参照上述流程，在不同运行速度下重复进行牵引与数据质量评估等；若采集的数据质量未达到检测商的要求，需分析原因，并采取措施后，重新开展牵引测试。

8 检测数据质量评估及分析识别

8.1 人员要求

具备相应资格的人员开展检测数据的分析、识别工作。

8.2 检测数据测试

8.2.1 检测数据质量评估

检测数据的质量评估包含：

- a) 通道数据丢失
 - 对原始数据进行初步评估时。对于牵引测试，可接受的丢失数据等效里程不大于实际里程的 1%，且不应有 2 个以上相邻通道的数据丢失。

- 假设检测器有 M 个通道，其中通道 x_1 、 x_2 、 $\dots$ 、 x_n 信号部分丢失，对应丢失信号里程分别为 L_1 、 L_2 、 $\dots$ 、 L_n ，则等效丢失里程：

$$L = \frac{L_1 + L_2 + \dots + L_n}{M} \# \dots \dots \dots (4)$$

式中， L —等效丢失里程，单位米（m）；

L_n —单个通道丢失里程，单位米（m）；

M —检测器通道数，

- b) 传感器噪声
传感器损坏或电路接触不良可能产生通道噪声，噪声信号会掩盖邻近的正常数据通道，噪声通道可接受条件，应参照通道数据丢失的可接受条件。
- c) 距离偏差
若待测试管道的里程报告与准确参考里程的偏差都超过 1%，宜重新核查里程数据，并做出必要的修正。
- d) 特征未记录
若未记录已知的法兰组、阀门、大口径三通等特征，需分析原因，并采取措施后，重新开展牵引测试。
- e) 速度过快
当检测器牵拉速度超过检测器速度要求的上限时，会导致的数据失真，应参照通道数据丢失的可接受条件。

8.2.2 数据完整性检查

对检测数据完整性初步评估。数据完整性评估应在数据初步处理后进行，数据完整性测试主要包含：

- a) 数据时域连续性核查
检查传感器所采集的缺陷数据在时域上是否连续。
- b) 里程连续性核查
查看漏磁内检测器的里程信息是否完整连续。
- c) 关键特征检测核查
通过数据查看环焊缝数量及关键特征是否完整。

8.3 缺陷及特征识别与定位能力比对

8.3.1 金属损失和特征识别能力比对

漏磁内检测器性能规范应明确规定类型及尺寸量化精度。量化精度是指报告尺寸与真实尺寸的接近程度。作为异常类型的函数，数据识别测试应包括：

- a) 金属损失
识别金属损失位于管道内部和非内部，金属损失的深度、长度、宽度等尺寸数据。
- b) 管体裂纹
识别裂纹的深度、轴向长度。裂纹群应识别裂纹群的轴向长度和周向宽度，及裂纹群中最大裂纹的深度和轴向长度。
- c) 焊缝裂纹及其它焊缝异常
深度、长度及与其它裂纹的邻近程度。焊缝异常应识别异常信号等级。

- d) 焊缝及特征
识别测试管道上焊缝及其它特征。
- e) 位置识别
识别金属损失、特征相对特定标记点的距离信息。

8.3.2 金属损失及特征定位能力比对

漏磁内检测器的定位分析主要包含：

- a) 漏磁内检测里程定位能力比对
 - 焊缝间距精度：测试识别两相邻环焊缝间的距离与管道上实际焊缝距离对比；
 - 标定点间距：通过检测数据获取管道两相邻定位点的距离与实际相邻定位点距离对比，判断漏磁内检测器的里程定位能力。
- b) 漏磁内检测钟点定位能力比对
通过检测数据获取管道缺陷的钟点方向与管道实际缺陷所处的钟点方向对比，判断漏磁内检测器的钟点定位能力。管道的钟点方向如图 4 所示。

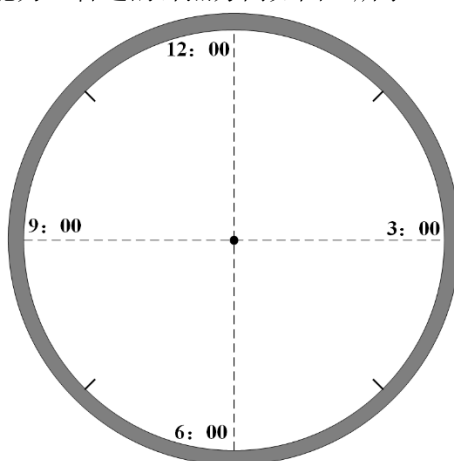


图 4 管道钟点方向

9 性能评价程序及报告

SY/T 6597、GB/T 27699、等标准选定的对漏磁内检测器性能评价因素适用于本文件。以下对漏磁内检测器性能评价因素适合本规定。

9.1 缺陷检测阈值评价

漏磁内检测器的缺陷检测阈值代表异常缺陷能够被检测到的最小尺寸，包括缺陷的长度、宽度、深度三个维度的综合表征。阈值确定可以通过对内检测器的牵引数据分析处理得到，其数值大小代表着不同漏磁内检测器的缺陷检测能力。

需要注意的是待测样管包含：金属损失、裂纹、焊缝等多种缺陷，漏磁内检测器对于不同类型的缺陷有不同检测阈值，因此被测漏磁内检测器缺陷阈值的确定需要针对不同类型的缺陷需单独列出，并填写表 1 漏磁内检测器不同缺陷的检测阈值。

表 1 漏磁内检测器不同缺陷的检测阈值

金属损失深度检测阈值							
	一般金属损失 (外壁)	坑状金属损失(外壁)	轴向凹槽金属损失(外壁)	轴向凹沟金属损失(外壁)	周向凹槽金属损失(外壁)	周向凹沟金属损失(外壁)	周向凹沟金属损失(内壁)
检测 阈值							
焊缝缺陷检测阈值							
	咬边	根部内凹	气孔	一条缺	未焊透	裂纹	未熔合
检测 阈值							
裂纹缺陷检测阈值							
	裂纹				类裂纹		
检测 阈值							

根据牵拉数据的分析结果，确定内检测器的不同类型缺陷深度检测阈值，并填写附录 D.1。

9.2 缺陷检测概率（POD）

GB/T 27699 等标准界定的 POD 定义适用于本文件。以下定义和计算公式适合本规定。

- a) 在大量单点缺陷检测基础上，进行基于统计学的内检测器性能评价，计算被测试内检测器的缺陷检测概率（POD）估计上限。假设待测试样管缺陷的总数量为 n ，内检测器检测到的缺陷数量为 G ，在指定置信度 P 下的估计缺陷检测概率上限由公式（5）得到：

$$\hat{p}_D = \tilde{P} + Z_\alpha \sqrt{\frac{\tilde{P}(1 - \tilde{P})}{n + Z_\alpha^2}} \times 100\% \# \dots\dots\dots (5)$$

$$\tilde{P} = \frac{G + \frac{Z_\alpha^2}{2}}{n + Z_\alpha^2} \# \dots\dots\dots (6)$$

式中：

- $\hat{p}_D$ —被测试内检测器的缺陷检测概率上限；
- N —缺陷检测的总数量；
- G —内检测器检测的缺陷数量；
- Z_α —指定置信度 P 下的分位数，由标准正态分布表得到。

- b) 假定被测试内检测器性能规格给出的置信度 P 为 80%，给出检验示例如下：

假定总共为 10 个缺陷检测中,内检测器检测到的缺陷数量为 5 个,则根据公式(5)计算出缺陷检测概率上限 $\hat{p}_D = 73\%$ 。

9.3 缺陷识别概率 (POI)

- c) 在单点缺陷检测基础上,进行基于统计学的性能评价,计算被测试内检测器的缺陷识别概率 (POI) 估计上限。

假设缺陷的总数量为 n ,内检测器检测到的缺陷数量为 K ,在指定置信度 P 下的估计缺陷识别概率上限由公式 (7) 得到:

$$\hat{P}_I = \tilde{P} + Z_\alpha \sqrt{\frac{\tilde{P}(1-\tilde{P})}{n + Z_\alpha^2}} \times 100\% \quad \text{..... (7)}$$

$$\tilde{P} = \frac{K + \frac{Z_\alpha^2}{2}}{n + Z_\alpha^2} \quad \text{..... (8)}$$

式中:

$\hat{p}_I$ —被测试内检测器的缺陷识别概率上限;

n —缺陷检测的总数量;

K —内检测器识别的缺陷数量;

Z_α —表示分位数,指定置信度 P 下的分位数由标准正态分布表得到。

- d) 假定被测试内检测器性能规格给出的置信度 P 为 80%,给出检验示例如下:假定总共为 25 个缺陷检测中,内检测器检测到的缺陷数量为 18 个,则计算出 $\hat{p}_I = 84\%$ 。

9.4 检测数据置信度

SY/T 6597 等标准界定的漏磁内检测数据置信度定义适用于本文件。以下定义和计算公式适合本规定。

9.4.1 基于单点验证的数据准确度评价

9.4.1.1 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现场验证的缺陷深度百分比差值由公式 (9) 表示:

$$e = (d/t)_{IN} - (d/t)_{FM} \quad \text{..... (9)}$$

式中:

e —内检测测量与现场验证的缺陷相对深度尺寸百分比差值;

d —缺陷深度尺寸,单位毫米 (mm);

t —管道壁厚,单位毫米 (mm);

$(d/t)_{IN}$ —内检测器测量的缺陷深度尺寸百分比;

$(d/t)_{FM}$ —现场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,由公式 (10) 表示:

$$(d/t)_{FM,UT} = \frac{t - t_s}{t} \quad \text{..... (10)}$$

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，单位毫米（mm）；

t_s —管道剩余壁厚，单位毫米（mm）。

基于误差传递，得到超声现场测量相对深度的标准由公式（11）表示：

$$\sigma_{(d/t)FM,UT} = \frac{1}{t} \sqrt{\left(\frac{t_s}{t}\right)^2 \sigma_s^2 + \sigma_{ts}^2} \quad \dots\dots\dots (11)$$

式中：

$\sigma_{(d/t)FM,UT}$ —超声现场测量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，单位毫米（mm）；

t_s —管道剩余壁厚，单位毫米（mm）；

σ_t —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样管金属损失深度时，原始壁厚仍然由超声测厚方法得到，管道缺陷的相对深度由公式（12）表示：

$$(d/t)_{FM,AD} = \frac{d}{t} \quad \dots\dots\dots (12)$$

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，单位毫米（mm）

d —表示深度尺测量的管道缺陷深度单位毫米（mm）。

基于误差传递，得到深度尺现场测量缺陷相对深度的标准差由公式（13）表示：

$$\sigma_{(d/t)FM,AD} = \frac{1}{t} \sqrt{\left(\frac{d}{t}\right)^2 \sigma_t^2 + \sigma_d^2} \quad \dots\dots\dots (13)$$

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，单位毫米（mm）；

d —深度尺测量的管道缺陷深度，单位毫米（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 P 下的公差，由公式（14）表示：

$$\delta_{(d/t)FM} = Z_\alpha \sigma_{(d/t)FM} \quad \dots\dots\dots (14)$$

$$\alpha = 1 - P \quad \dots\dots\dots (15)$$

式中：

$\delta_{(d/t)FM}$ —现场测量深度的公差；

P —指定置信度；

Z_α —分位数, 指定置信度 P 的分位数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。

例如现场测量的误差以正态分布给出时, 置信度 $P=60\%$ 时, 对应的尺寸公差可以由分位数 0.84 乘以标准差得到; $P=70\%$ 时, 对应的尺寸公差可以由分位数 1.08 乘以标准差得到。

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由公式 (16) 表示。计算时两者需要使用同样的可信度。

$$\delta_{ec} = \sqrt{\delta_{(d/t)_{IN}}^2 + \delta_{(d/t)_{FM}}^2} \dots\dots\dots (16)$$

式中:

δ_{ec} —组合后的公差;

$\delta_{(d/t)_{IN}}$ —被测试内检测器测量缺陷相对深度的公差;

$\delta_{(d/t)_{FM}}$ —深度尺现场测量缺陷相对深度的标准差, 由式(14)给出。

9.4.1.2 使用公式 (17) 进行比较。如果公式(17)成立则内检测单点验证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。

$$e > \delta_{ec} \dots\dots\dots (17)$$

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_{ec} —组合后的公差。

表 2 给出了单点验证测量的 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				现场测量值				对比			
$(d/t)_{IN}\%$	$\delta_{(d/t)_{IN}}\%$	t mm	σ_t mm	t_s mm	σ_{ts} mm	d mm	$(d/t)_F$ $M\%$	$\sigma_{(d/t)_F}$ $M\%$	$ e \%$	$\delta_{ec}\%$	
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	是否符合
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

9.4.2 基于统计学的检测数据置信度评价

9.4.2.1 在大量单点验证测量比较的基础上, 可以进行基于统计学的性能规格检验, 计算被测试内检测器的估计可信度上限, 与其性能规格中的可信度进行比较, 得出是否符合的结论。

在总共 n 组单点验证测量中, 由 X 组验证结论为符合, 在置信度 P 下的估计可信度上限由公式 (18) 得到:

$$\hat{P}_h = \bar{P} + Z_\alpha \sqrt{\frac{\bar{P}(1-\bar{P})}{n + Z_\alpha^2}} \times 100\% \# \dots\dots\dots (18)$$

$$\tilde{P} = \frac{X + \frac{Z_{\alpha}^2}{2}}{n + Z_{\alpha}^2} \# \dots\dots\dots (19)$$

式中：

$\hat{p}_h$ —被测试内检测器的估计可信度的上限；

n —单点验证的总数量；

X —单点验证测量中结论为符合的数量；

Z_{α} —在指定置信度 P 下的上侧分位数，由标准正态分布表得到。

使用公式（20）进行比较。如果公式（20）成立则被测试内检测器的估计可信度的上限低于性能规格，结论为不符合；反之，则结论为符合。

$$\hat{P}_h < p \dots\dots\dots (20)$$

式中：

$\hat{p}_h$ —被测试内检测器的估计可信度的上限；

P —被测试内检测器性能规格给出的可信度。

9.4.2.2 假定被测试内检测器性能规格给出的可信度为 80%，给出 2 个检验示例如下：

- a) 假定总共为 10 组单点验证测量中，5 组为结论符合，则计算出 $\hat{p}_h = 0.73$ ，低于性能规格给出的 0.80，结论为不符合；
- b) 假定总共 25 组单点验证测量中，18 组结论为符合，则计算出 $\hat{p}_h = 0.84$ ，高于性能规格给出的 0.80，结论为符合。

9.5 里程及钟点误差

9.5.1 里程误差

漏磁内检测器在管道内运行过程中，由于里程轮的打滑将不可避免出现累积误差，其存在的误差属于正常现象。如果整条管道的报告里程与准确参考里程的偏差都超过 1%，宜重新检查管道长度并做出必要的修正。里程偏差的确定参考下式：

$$error_L = (L - L_1)\% \dots\dots\dots (21)$$

式中：

L —缺陷距离临近标记点间的真实里程，单位毫米（mm）；

L_1 —由内检测器缺陷检测数据确定的管道缺陷与临近标记点间的里程信息。

9.5.2 钟点误差

漏磁内检测器在管道内运行过程中，由于其受力不均匀导致在管道内部的运行姿态发生变化，产生周向的旋转。钟点偏差的确定参考下式：

$$error_h = (h - h_1)\% \dots\dots\dots (22)$$

式中：

h —缺陷的真实钟点方位信息；

h_1 —由内检测器检测数据确定的管道缺陷钟点方位信息。

9.6 性能测试评价

本标准主要针对管道漏磁内检测器对金属损失、焊缝异常、裂纹三类缺陷的检测能力进行综合评价。

金属损失检测能力的评价指标包含：缺陷检测阈值（反向指标）、缺陷检测概率、缺陷识别概率、检测数据置信度（包含长、宽、深）、钟点误差（逆向指标）、里程误差（反向指标）。

焊缝异常检测能力的评价指标包含：检测概率、类型识别概率、数据置信度（包含长、宽、深给出权重计算综合置信度）、钟点误差（反向指标）、里程误差（反向指标）；

裂纹检测能力的评价指标包含（待定）：缺陷检测阈值（逆向指标）、缺陷检测概率、钟点误差（逆向指标）、里程误差（逆向指标）。

9.6.1 基于熵权法的性能测试评价方法

熵是信息论中测定不确定性的量，信息量越大，不确定性越小，熵也越小。反之，信息量越小，不确定性就越大，熵也越大。由于管道不同缺陷的检测难易程度不同，因此需要对多项内检测器的关键性能指标进行赋权，以便能够更加合理的对被牵拉测试的内检测器缺陷检测性能进行合理评价。本标准以熵权法为核心基础对多项性能指标进行赋权，其计算步骤如下：

a) 数据标准化

将各个指标的数据进行标准化处理。

假设给定 n 个指标 X_1 、 X_2 、 X_3 、 $X_4 \dots X_n$ 分别代表待测试内检测器的缺陷检测阈值、缺陷检测概率、缺陷识别概率、检测数据置信度等多个评价指标，其中， $X_i = \{x_1, x_2, x_3 \dots x_m\}$ 表示单个指标的多组数据。假设对各指标数据标准化后的值为 Y_1 、 Y_2 、 Y_3 、 $Y_4 \dots Y_{ij}$ 由式，对于正/反向指标分别通过（23）和（24）式确定：

$$Y_{ij} = \frac{X_{ij} - \min(X_i)}{\max(X_i) - \min(X_i)} \quad \dots\dots\dots (23)$$

$$Y_{ij} = \frac{\max(X_i) - X_{ij}}{\max(X_i) - \min(X_i)} \quad \dots\dots\dots (24)$$

b) 求各指标的信息熵

根据信息论中信息熵的定义，一组数据的信息熵由式（25）确定：

$$E_j = -\frac{1}{\ln(m)} \sum_{i=1}^m p_{ij} \ln p_{ij} \quad \dots\dots\dots (25)$$

其中： $p_{ij} = \frac{Y_{ij}}{\sum_{j=1}^m (Y_{ij})} (i = 1, 2, 3 \dots, m; j = 1, 2, 3 \dots, n)$;

若 $p_{ij} = 0$ ，则定义 $\lim_{p_{ij} \rightarrow 0} p_{ij} \ln p_{ij} = 0$ 。

c) 确定各指标权重

根据信息熵的计算公式，计算出各个指标的信息熵为 E_1 、 E_2 、 E_3 、 $E_4 \dots\dots E_n$ 。通过信息熵计算各个指标的权重，参考式（26）：

$$W_i = \frac{1 - E_i}{n - \sum_{i=1}^n E_i} \# \dots\dots\dots (26)$$

d) 计算得分

根据计算的指标权重，对第 m 个内检测器 n 项指标（缺陷检测阈值、缺陷检测概率、缺陷识别概率、检测数据置信度）进行综合评分，参考式（27）：

$$Z_m = \sum_{i=1}^n X_{mi} W_i \# \dots\dots\dots (27)$$

9.6.2 内检测器性能评分

根据 9.6.1 所述基于熵权法的漏磁内检测器性能测试评价方法对漏磁内检测器的性能进行综合评分，并填写附录 E.1。表 2 为检测器性能评价表。

表 2 性能测试评价表

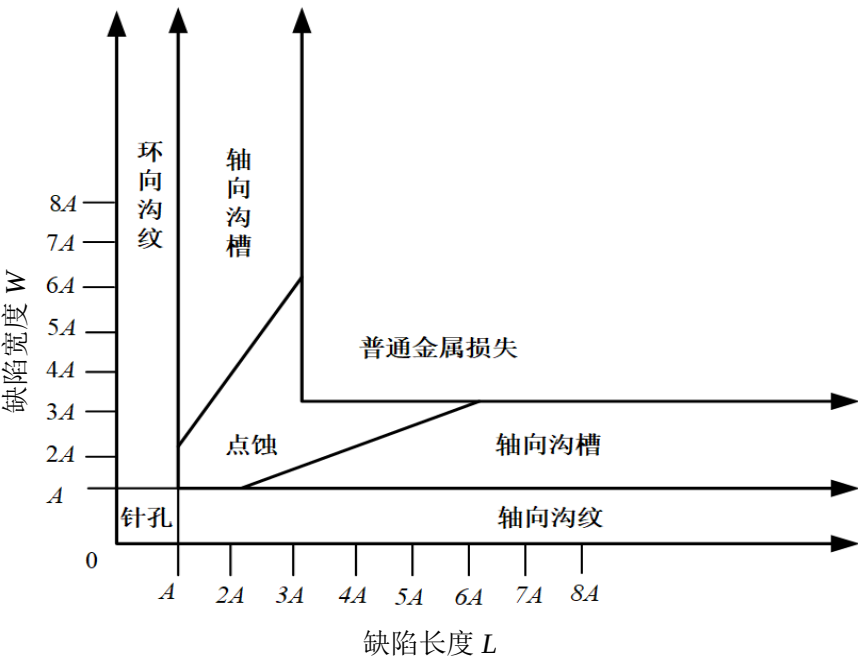
	类型	检测阈值	POD	POI	置信度
金属损失	一般金属损失（外）				
	坑状金属损失（外）				
	轴向凹槽金属损失（外）				
	轴向凹沟金属损失（外）				
	周向凹槽金属损失（外）				
	周向凹沟金属损失（外）				
	周向凹沟金属损失（内）				
焊缝缺陷	咬边				
	根部内凹				
	气孔				
	一条缺				
	未焊透				
	裂纹				
	未熔合				
裂纹	类裂纹				
	裂纹				

附 录 A

(规范性附录)

油气管道金属损失类型定义

A.1 金属损失类型定义如图 A.1 所示。



金属损失类型	定义	参考(L×W)
普通金属损失	$W \geq 3A$ 和 $L \geq 3A$	$4A \times 4A$
轴向沟槽	$1A \leq W < 3A$ 和 $L/W \geq 2$	$4A \times 2A$
环向沟槽	$1A \leq W < 3A$ 和 $L/W \leq 0.5$	$2A \times 4A$
轴向沟纹	$0 < W < 1A$ 和 $L \geq 1A$	$2A \times 0.5A$
环向沟纹	$0 < L < 1A$ 和 $W \geq 1A$	$0.5A \times 2A$
点蚀	$1A \leq W < 6A$ 和 $1A \leq L < 6A$ 和 $0.5 < L/W < 2$ 且不能是($W \geq 3A$ 和 $L \geq 3A$)	$2A \times 2A$
针孔	$0 < W < 1A$ 和 $0 < L < 1A$	$0.5A \times 0.5A$
注 1: L 表示缺陷长。 注 2: W 表示缺陷宽度。 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 $A = t$; t 表示管道公称壁厚。		

图 A. 1 金属损失类型定义

附录 B
(规范性附录)
测试条件要求

对比试件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同的管件制作，针对超高清晰度检测器，表 B.1 列出了在用压力管道漏磁内检测对比试件制作要求，缺陷沿轴向排列，各个类型的对比试件之间的间距不小于被检管道外径，缺陷深度的公差 $\pm 0.5\text{mm}$ 。

表 B. 1 在用压力管道漏磁内检测对比试件制作要求

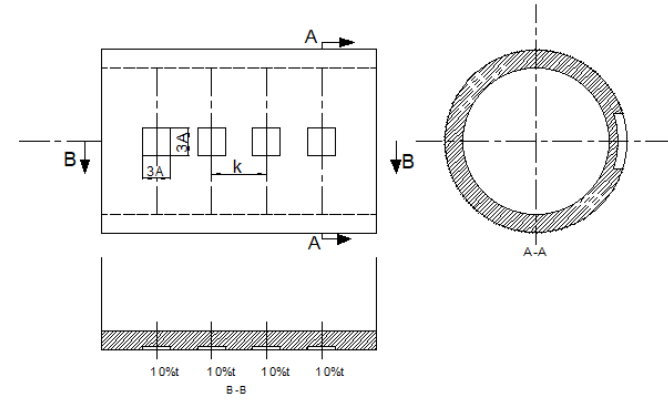
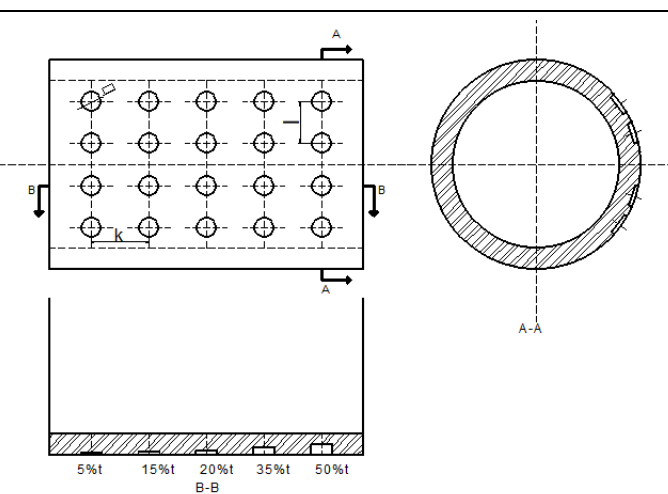
缺陷位置	名称	缺陷尺寸	缺陷数量	缺陷示意图
管道外壁	一般金属损失	$3A \times 3A \times 10\%t$ (宽度 $\times$ 长度 $\times$ 深度)，列间距为 k 。	4	
	坑状金属损失	直径为 A ，深度为 $5\%t$ 、 $15\%t$ 、 $20\%t$ 、 $35\%t$ 、 $50\%t$	20	

表 B. 1（续）

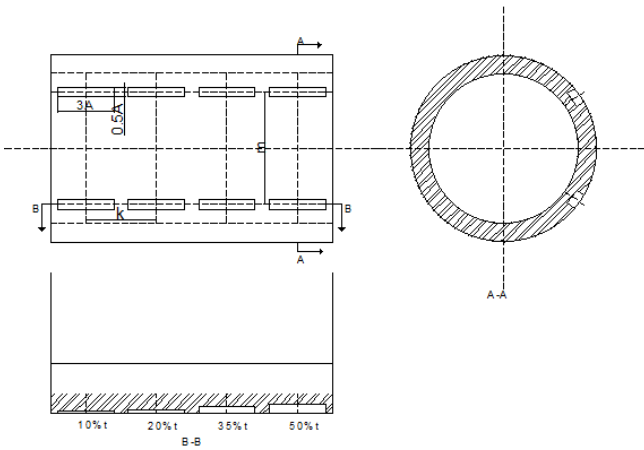
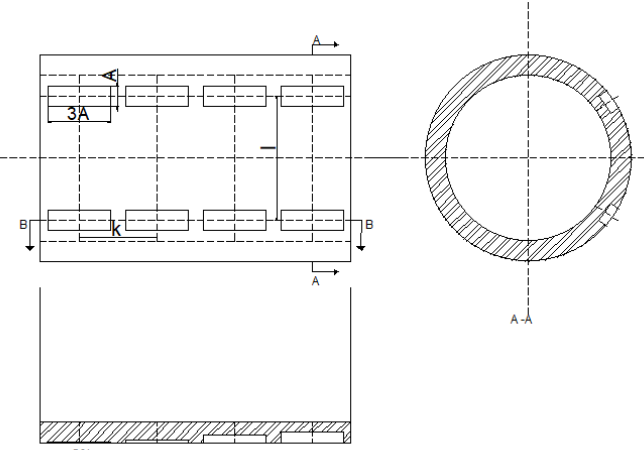
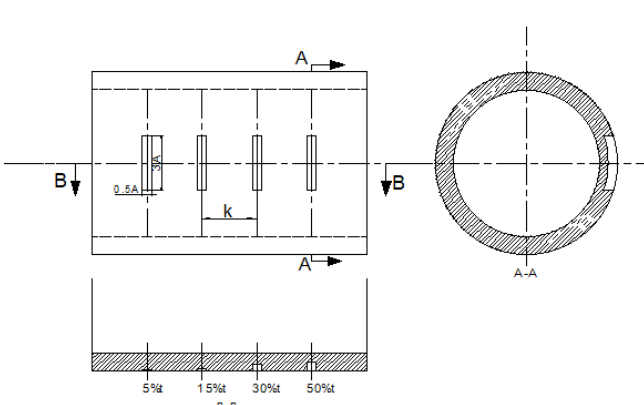
轴向 凹槽 金属 损失	宽度为 0.5A, 长度 为 3A, 深度 为 10%t 、 20%t 、 35%t、 50%t	8	
轴向 凹沟 金属 损失	宽度为 A, 长度 为 3A, 深度 为 5%t 、 15%t 、 35%t 、 50%t	8	
周向 凹槽 金属 损失	宽度为 3A, 长度为 0.5A, 深度为 5%t、 15%t、 30%t、 50%t	4	

表 B. 1（续）

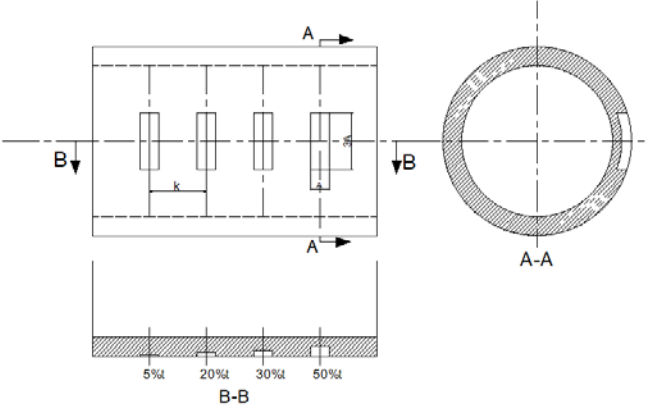
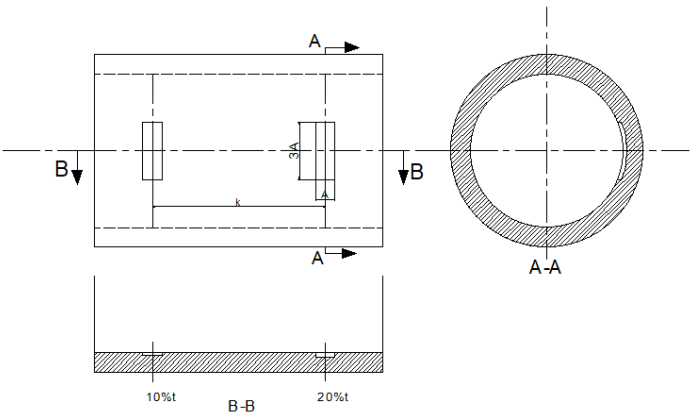
	周向凹沟金属损失	宽度为 3A, 长为周向凹沟金属损失 A, 深度为 5%t、20%t、30%t、50%t	4	
管道内壁	周向凹沟金属损失	宽为 3A, 长为 A, 深度为 10%t、20%t	2	
注 1: 在核准检测器检测指标时, 应加工一般金属损失对比试件; 采用对比试件评定检测数据时, 可不加工一般金属损失对比试件。 注 2: t 为被检管道的公称壁厚。 注 3: A 是几何参数, 如果 $t < 10\text{mm}$, 那么 $A = 10\text{mm}$; 如果 $t \geq \text{mm}$, 贝 $A = t$。 注 4: l, m 表示人工缺陷周向中心间距, $l \geq A + 20\text{mm}$, $m \geq 5A$。 注 5: k 表示人工缺陷轴向中心间距, $k \geq \Phi_0$, Φ_0 为被检管道管径。				

表 B. 2 焊缝缺陷相关参数

缺陷类型	钟点方向	轴向	环向	径向深度	内/外	数量	备注
咬边	3:00	4mm	10mm	0.4mm	外	1	50369 参数: 深度大于 0.8mm, 大于壁厚 12.5%, 取两者较小值, 任何长度均不合格
	6:00			0.6mm		1	
	9:00			0.8mm		1	
	12:00			1mm		1	
根部内凹	3:00	/	10mm	1.5mm	内	1	47013 参数: 根部内凹深度/壁厚比值>20%, 深度>2mm, 四级片
	6:00			1.7mm		1	
	9:00			2.0mm		1	
	12:00			2.2mm		1	
气孔	3:00	2mm	2mm	2mm	密集 2 个	1	①气孔位于 10*10mm 范围内 ②47013 参数: 缺陷点数>6 个或者缺陷长径>T/2 是四级片
	6:00				密集 4 个	1	
	9:00				密集 6 个	1	
	12:00				密集 8 个	1	
一条缺	3:00	/	20mm	1.0mm	中部	1	47013 参数: >30mm 是四级片
	6:00		30mm			1	
	9:00		35mm			1	
	12:00		40mm			1	
未焊透	3:00	/	20mm	1.0mm	根部	1	47013 参数: 未焊透深度/壁厚比值>15%, 深度>1.5mm, 长度>30mm, 四级片
	6:00		30mm	1.5mm		1	
	9:00		35mm	2.0mm		1	
	12:00		40mm	2.5mm		1	
裂纹	3:00	0.3mm	30mm	50% t	中部	1	/
	6:00		30mm	20% t		1	
	9:00		20mm	50% t		1	
	12:00		40mm	20% t		1	
未熔合	3:00	2mm	12mm	1.0mm	连接表面未融合	1	4109 参数: 1)单个缺陷大于 2T,或长度大于 25mm 2)缺陷长度大于 3T,或长度大于 50mm, 四级
	6:00		25mm	1.5mm	焊道间冷夹层	1	
	9:00		18mm	2.0mm	焊道与母材间的冷夹层	1	
	12:00		50mm	2.5mm	焊道与母材间的冷夹层	1	

表 B. 3 裂纹缺陷相关参数

	钟点方向	长度	宽度	深度	位置	数量	
类裂纹	3:00	A	1mm	50%t	外	4（各一个）	与励磁方向夹角 90°（极限周向凹槽）
	9:00			20% t	内		与励磁方向夹角 45°
	6:00			20% t	外		与励磁方向夹角 15°
	12:00			50% t	内		与励磁方向夹角 0°（极限轴向凹槽）
裂纹	3:00	4	0.5mm	50% t	外	4（各一个）	与励磁方向夹角 90°（极限周向凹槽）
	9:00			20% t	内		与励磁方向夹角 45°
	6:00			20% t	外		与励磁方向夹角 15°
	12:00			50% t	内		与励磁方向夹角 0°（极限轴向凹槽）
	3:00		0.3mm	50% t	外	4（各一个）	与励磁方向夹角 90°（极限周向凹槽）
	9:00			20% t	内		与励磁方向夹角 45°
	6:00			20% t	外		与励磁方向夹角 15°
	12:00			50% t	内		与励磁方向夹角 0°（极限轴向凹槽）
	3:00		0.1mm	50% t	外	4（各一个）	与励磁方向夹角 90°（极限周向凹槽）
	9:00			20% t	内		与励磁方向夹角 45°
	6:00			20% t	外		与励磁方向夹角 15°
	12:00			50% t	内		与励磁方向夹角 0°（极限轴向凹槽）

附录 C
(规范性附录)
测试试验实施

C.1 漏磁内检测器性能参数确认表

内检测器各节物理参数（单位：mm）					
编号	长度	名称	皮碗类型	皮碗厚度	皮碗过盈量
第一节					
第二节					
第三节					
第四节					
第五节					
...					
合计		/	/	/	
内检测器检测探头性能参数（单位：mm）					
通道数	传感器周向 间距	磁化方 向	磁化水 平	轴向采样原 理	轴向采样间距
		轴向/环 向		时间/里程	

C.2 漏磁内检测器缺陷参数确认表

缺陷样管上的缺陷参数信息（单位：mm）				
编号	缺陷类型	缺陷尺寸 （长×宽）	钟点方位（h: min）	里程信息
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
...	...	...	...	...

附录 D
(规范性附录)
性能评价实施

表 D. 1 漏磁内检测器缺陷检测阈值

金属损失缺陷深度检测阈值							
	一般金属损失 (外壁)	坑状金属损失(外壁)	轴向凹槽金属损失(外壁)	轴向凹沟金属损失(外壁)	周向凹槽金属损失(外壁)	周向凹沟金属损失(外壁)	周向凹沟金属损失 (内壁)
检测 阈值							
	裂纹				类裂纹		
检测 阈值							

表 D. 2 漏磁内检测器缺陷检测概率（POD）评价标准

缺陷类型	缺陷样管包含缺陷数量 N	漏磁内检测器检测缺陷数量 M	管道缺陷检测概率（POD）
金属损失、焊缝、裂纹			
金属损失			
焊缝			
裂纹			

表 D. 3 焊缝缺陷漏磁内检测器缺陷检测概率（POD）评价标准

缺陷类型	缺陷样管包含缺陷数量	漏磁内检测器检测缺陷数量	缺陷检测概率（POD）
咬边			
根部内凹			
气孔			
一条缺			
未焊透			
未熔合			

表 D. 4 裂纹缺陷漏磁内检测器缺陷检测概率（POD）评价标准

缺陷类型	缺陷数量	漏磁内检测器检测缺陷数量	缺陷检测概率（POD）
类裂纹			
裂纹			

表 D. 5 漏磁内检测器缺陷识别概率（POI）评价标准

缺陷类型	缺陷样管包含缺陷数量 N	漏磁内检测器识别缺陷数量 M	管道缺陷识别概率（POI）
金属损失、焊缝、裂纹			
金属损失			
焊缝			
裂纹			

附录 E
(规范性附录)
测试与评价报告

E. 1 内检测器金属损失缺陷深度检测阈值性能评价表

金属损失缺陷深度检测阈值评价	金属损失缺陷类型	检测阈值(a)	对应分数	内检测器得分
	一般金属损失(外壁)	$a \leq 10\%t$	10	
		$a > 10\%t$	0	
	坑状金属损失(外壁)	$a \leq 5\%t$	10	
		$5\%t < a \leq 15\%t$	8	
		$15\%t < a \leq 20\%t$	6	
		$20\%t < a \leq 35\%t$	4	
		$35\%t < a \leq 50\%t$	2	
		$> 50\%t$	0	
	轴向凹槽金属损失 (外壁)	$\leq 10\%t$	10	
		$10\%t < a \leq 20\%t$	8	
		$20\%t < a \leq 35\%t$	6	
		$35\%t < a \leq 50\%t$	4	
		$> 50\%t$	0	
	轴向凹沟金属损失 (外壁)	$\leq 5\%t$	10	
		$5\%t < a \leq 15\%t$	8	
		$15\%t < a \leq 35\%t$	6	
		$35\%t < a \leq 50\%t$	4	
		$> 50\%t$	0	
	周向凹槽金属损失 (外壁)	$\leq 5\%t$	10	
		$5\%t < a \leq 15\%t$	8	
		$15\%t < a \leq 30\%t$	6	
		$30\%t < a \leq 50\%t$	4	
		$> 50\%t$	0	
	周向凹沟金属损失 (外壁)	$\leq 5\%t$	10	
		$5\%t < a \leq 20\%t$	8	
		$20\%t < a \leq 30\%t$	6	
		$30\%t < a \leq 50\%t$	4	
		$> 50\%t$	0	
	周向凹沟金属损失 (内壁)	$\leq 10\%t$	10	
		$10\%t < a \leq 20\%t$	6	
		$> 20\%t$	0	

E. 2 内检测器焊缝缺陷检测阈值性能评价表

	焊缝缺陷类型	检测阈值(a)	对应分数	内检测器得分
焊缝缺陷检测阈值评分	咬边	$a \leq 0.4\text{mm}$	10	
		$0.4\text{mm} < a \leq 0.6\text{mm}$	8	
		$0.6\text{mm} < a \leq 0.8\text{mm}$	6	
		$0.8\text{mm} < a \leq 1\text{mm}$	4	
		$a > 1\text{mm}$	0	
	根部内凹	$a \leq 1.5\text{mm}$	10	
		$1.5\text{mm} < a \leq 1.7\text{mm}$	8	
		$1.7\text{mm} < a \leq 2\text{mm}$	6	
		$2\text{mm} < a \leq 2.2\text{mm}$	4	
		$a > 2.2\text{mm}$	0	
	气孔	$a \leq 2\text{mm}$	10	
		$a > 2\text{mm}$	0	
	一条缺	$a \leq 1\text{mm}$	10	
		$a > 1\text{mm}$	0	
	未焊透	$a \leq 1\text{mm}$	10	
		$1\text{mm} < a \leq 1.5\text{mm}$	8	
		$1.5\text{mm} < a \leq 2\text{mm}$	6	
		$2\text{mm} < a \leq 2.5\text{mm}$	4	
		$a > 2.5\text{mm}$	0	
	裂纹	$a \leq 20\%t$	10	
		$20\%t < a \leq 50\%t$	6	
		$a > 50\%t$	0	
	未熔合	$a \leq 1.0\text{mm}$	10	
		$1.0\text{mm} < a \leq 1.5\text{mm}$	8	
		$1.5\text{mm} < a \leq 2\text{mm}$	6	
		$2.0\text{mm} < a \leq 2.5\text{mm}$	4	
		$a > 2.5\text{mm}$	0	

E. 3 内检测器裂纹缺陷检测阈值性能评价表

	裂纹缺陷类型	检测阈值(a)	对应分数	内检测器得分
裂纹缺陷检测阈值评分	裂纹	$a \leq 20\%t$	10	
		$20\% < a \leq 50\%$	8	
		$a > 50\%$	0	
	类裂纹	$a \leq 20\%$	10	
		$20\% < a \leq 50\%$	8	
		$a > 5\text{mm}$	0	

E. 4 内检测器金属损失缺陷检测概率 (POD) 性能评价表

	金属损失缺陷类型	检测概率(POD)	对应分数	内检测器得分
金属损失缺陷检测概率 (POD) 评价	一般金属损失(外壁)	$POD \geq 90\%$	10	
		$90\% > POD \geq 80\%$	8	
		$80\% > POD \geq 60\%$	6	
		$60\% > POD$	0	
	坑状金属损失(外壁)	$POD \geq 90\%$	10	
		$90\% > POD \geq 80\%$	8	
		$80\% > POD \geq 60\%$	6	
		$60\% > POD$	0	
	轴向凹槽金属损失(外壁)	$POD \geq 90\%$	10	
		$90\% > POD \geq 80\%$	8	
		$80\% > POD \geq 60\%$	6	
		$60\% > POD$	0	
	轴向凹沟金属损失(外壁)	$POD \geq 90\%$	10	
		$90\% > POD \geq 80\%$	8	
		$80\% > POD \geq 60\%$	6	
		$60\% > POD$	0	
	周向凹槽金属损失(外壁)	$POD \geq 90\%$	10	
		$90\% > POD \geq 80\%$	8	
		$80\% > POD \geq 60\%$	6	
		$60\% > POD$	0	
	周向凹沟金属损失(外壁)	$POD \geq 90\%$	10	
		$90\% > POD \geq 80\%$	8	
		$80\% > POD \geq 60\%$	6	
		$60\% > POD$	0	
	周向凹沟金属损失 (内壁)	$POD \geq 90\%$	10	
		$90\% > POD \geq 80\%$	8	
		$80\% > POD \geq 60\%$	6	
		$60\% > POD$	0	

表 E. 5 内检测器焊缝缺陷检测概率 (POD) 性能评价表

焊缝缺陷检测概率 (POD) 评价	焊缝缺陷类型	检测概率(POD)	对应分数	内检测器得分
	咬边	$POD \geq 90\%$	10	
		$90\% > POD \geq 70\%$	8	
		$70\% > POD \geq 50\%$	6	
		$50\% > POD$	0	
	根部内凹	$POD \geq 90\%$	10	
		$90\% > POD \geq 70\%$	8	
		$70\% > POD \geq 50\%$	6	
		$50\% > POD$	0	
	气孔	$POD \geq 90\%$	10	
		$90\% > POD \geq 70\%$	8	
		$70\% > POD \geq 50\%$	6	
		$50\% > POD$	0	
	一条缺	$POD \geq 90\%$	10	
		$90\% > POD \geq 70\%$	8	
		$70\% > POD \geq 50\%$	6	
		$50\% > POD$	0	
	未焊透	$POD \geq 90\%$	10	
		$90\% > POD \geq 70\%$	8	
		$70\% > POD \geq 50\%$	6	
		$50\% > POD$	0	
	未熔合	$POD \geq 90\%$	10	
		$90\% > POD \geq 70\%$	8	
		$70\% > POD \geq 50\%$	6	
		$50\% > POD$	0	

表 E. 6 内检测器缺陷识别概率 (POI) 性能评价表

缺陷识别概率 (POI) 评价	缺陷类型	缺陷识别概率 (POI)	对应分数	内检测器得分
	金属损失	$POD \geq 90\%$	10	
		$90\% > POD \geq 80\%$	9	
		$80\% > POD \geq 70\%$	8	
		$70\% > POD \geq 60\%$	7	
		$50\% > POD$	0	
	焊缝	$POD \geq 90\%$	10	
		$90\% > POD \geq 80\%$	9	
		$80\% > POD \geq 70\%$	8	
		$70\% > POD \geq 60\%$	7	
		$50\% > POD$	0	
	裂纹	$POD \geq 90\%$	10	

		90%>POD≥80%	9	
		80%>POD≥70%	8	
		70%>POD≥60%	7	
		50%>POD	0	

表 E. 7 内检测器金属损失缺陷识别概率（POI）性能评价表

金属缺陷识别(POI) 概率评价	缺陷名称	缺陷识别概率（POI）	对应分数	内检测器得分
	一般金属损失(外壁)	POI≥90%	10	
		90%>POI≥80%	8	
		80%>POI≥60%	6	
		60%>POI	0	
	坑状金属损失(外壁)	POI≥90%	10	
		90%>POI≥80%	8	
		80%>POI≥60%	6	
		60%>POI	0	
	轴向凹槽金属损失(外壁)	POI≥90%	10	
		90%>POI≥80%	8	
		80%>POI≥60%	6	
		60%>POI	0	
	轴向凹沟金属损失(外壁)	POI≥90%	10	
		90%>POI≥80%	8	
		80%>POI≥60%	6	
		60%>POI	0	
	周向凹槽金属损失(外壁)	POI≥90%	10	
		90%>POI≥80%	8	
		80%>POI≥60%	6	
		60%>POI	0	
	周向凹沟金属损失(外壁)	POI≥90%	10	
		90%>POI≥80%	8	
		80%>POI≥60%	6	
		60%>POI	0	
	周向凹沟金属损失（内壁）	POI≥90%	10	
		90%>POI≥80%	8	
		80%>POI≥60%	6	
		60%>POI	0	

表 E.8 内检测器焊缝缺陷识别概率（POI）性能评价表

焊缝缺陷识别(POI) 概率评价	缺陷名称	缺陷识别概率（POI）	对应分数	内检测器得分
	咬边	$POI \geq 90\%$	10	
		$90\% > POI \geq 70\%$	8	
		$70\% > POI \geq 50\%$	6	
		$50\% > POI$	0	
	坑状金属损失(外壁) 根部内凹	$POI \geq 90\%$	10	
		$90\% > POI \geq 70\%$	8	
		$70\% > POI \geq 50\%$	6	
		$50\% > POI$	0	
	气孔	$POI \geq 90\%$	10	
		$90\% > POI \geq 70\%$	8	
		$70\% > POI \geq 50\%$	6	
		$50\% > POI$	0	
	一条缺	$POI \geq 90\%$	10	
		$90\% > POI \geq 70\%$	8	
		$70\% > POI \geq 50\%$	6	
		$50\% > POI$	0	
	根部未焊透	$POI \geq 90\%$	10	
		$90\% > POI \geq 70\%$	8	
		$70\% > POI \geq 50\%$	6	
		$50\% > POI$	0	
	焊缝裂纹	$POI \geq 90\%$	10	
		$90\% > POI \geq 70\%$	8	
		$70\% > POI \geq 50\%$	6	
		$50\% > POI$	0	
	未熔合	$POI \geq 90\%$	10	
		$90\% > POI \geq 70\%$	8	
		$70\% > POI \geq 50\%$	6	
		$50\% > POI$	0	

表 E.9 内检测器裂纹缺陷识别概率（POI）性能评价表

焊缝缺陷识别(POI)概率	缺陷名称	缺陷识别概率（POI）	对应分数	内检测器得分
	类裂纹	$POI \geq 90\%$	10	
		$90\% > POI \geq 70\%$	8	
		$70\% > POI \geq 50\%$	6	
		$50\% > POI$	0	
	裂纹	$POI \geq 90\%$	10	
		$90\% > POI \geq 70\%$	8	
		$70\% > POI \geq 50\%$	6	
		$50\% > POI$	0	

《油气管道内检测器性能测试与评估》

编制说明

1 工作简况

1.1 任务来源

《油气管道漏磁内检测器性能测试与评估》标准以“十一五”、“十二五”国家重大仪器课题“油气输送管道金属损失多功能内检测应用开发（2012YQ09017504）”、国家重点研发计划项目“材料损伤电磁无损检测与评估关键技术研究及仪器研制（2017YFF0209700）”等国家级科研课题的相关成果为基础，结合 10 多年的检测实践经验制定由中国特种设备检验协会批准立项。该标准由中国特种设备检验协会团体标准技术委员会归口管理。

1.2 起草单位

略

1.3 主要起草人及其所承担工作的简要说明

序号	章节号	章节号	章节名称	承担单位
1	1		范围	中国特种设备检测研究院、清华大学、中国特种设备检验协会
2	2		规范性引用文件	中国特种设备检测研究院、国家管网集团北方管道有限责任公司
3	3		术语和定义	中国特种设备检测研究院
4	4		人员要求	中国特种设备检测研究院
5	5		性能测试与评价内容	中国特种设备检测研究院、国家管网集团北方管道有限责任公司
7		5.1	性能测试与评价流程	沈阳工业大学

8		5. 2	牵拉实验准备	安徽省特种设备检测研究院
9		5. 3	性能参数确认	国家管网集团东部原油储运公司
10		5. 4	数据完整性检查、特征及缺陷识别	中国特种设备检测研究院
11		5. 5	漏磁内检测器性能评价	国家管网集团西南管道有限责任公司
12	6		测试条件	沈阳工业大学
13		6. 1	牵引试验台硬件	中国特种设备检测研究院
14		6. 2	牵引速度	中海石油气电集团有限责任公司
15		6. 3	牵引力	沈阳工业大学
16		6. 4	环境温度	沈阳工业大学
17		6. 5	牵引操作场地	中海石油气电集团有限责任公司
18	7		牵引测试	中国特种设备检测研究院
19		7. 1	漏磁内检测器参数确认	中国特种设备检测研究院
20		7. 2	牵引测试操作	中国特种设备检测研究院
21	8		检测数据质量评估及分析识别	中国特种设备检测研究院
22		8. 1	人员要求	中海石油气电集团有限责任公司
23		8. 2	检测数据测试	安徽省特种设备检测研究院
24		8. 3	缺陷及特征识别与定位能力对比	安徽省特种设备检测研究院
25	9		性能评价程序及报告	中国特种设备检测研究院
26		9. 1	缺陷检测阈值评价	国家管网集团华北分公司
27		9. 2	缺陷检测概率	浙江浙能天然气运行有限公司管道检测中心
28		9. 3	缺陷识别概率	北京埃彼咨能源科技有限公司
29		9. 4	检测数据置信度	中国特种设备检测研究院

30		9. 5	性能测试评价	中国特种设备检测研究院
31	附录 A		油气管道金属损失类型定义	国家管网集团北方管道有限责任公司
32	附录 B		测试条件要求	沈阳工业大学
33	附录 C		测试试验实施	沈阳工业大学
34	附录 D		性能评价实施	中国特种设备检测研究院
35	附录 E		测试与评价报告	中国特种设备检测研究院

2 编制原则和主要内容

2.1 编制原则

- 1) 标准的编写格式按国家标准 GB/T 1.1-2009《标准化工作导则 第一部分：标准的结构和编写规则》的规定和要求进行编写；
- 2) 本标准以国家科研成果为基础，进行综合凝练，以保证标准的先进水平。是对油气管道漏磁内检测器性能，提出具体的测试与评估方法；
- 3) 以国家科研成果为基础，充分考虑工程试应用的结果，以保证标准的适用性；
- 4) 规范管道内检测过程管理，提升内检测服务质量；
- 5) 满足标准的科学性、先进性、有效性原则，规范我国内检测器性能测试与评价工作。

2.2 标准主要内容说明

本标准给出油气管道内检测器性能测试与评价方法，由 9 个章节和 5 个附录组成，包括：适用范围、规范性引用文件、术语和定义、人员要求、性能测试与评价内容、测试条件、牵引测试、检测数据质量评估及分析识别、性能评价程序及报告、附录 A（油气管道金属损失类型定义）、附录 B（测试条件要求）、附录 C（测试试验实施）、附录 D（性能评价实施）、附录 E（测试与评价报告）。

本标准是首次制订，核心的技术内容包括：性能测试与评价内容、测试条件、牵引测试、检测数据质量评估及分析识别、性能评价程序及报告，这些内容是在国家“十一五”、“十二五”国家重大仪器课题“油气输送管道金属损失多功

能内检测应用开发（2012YQ09017504）”、国家重点研发计划项目“材料损伤电磁无损检测与评估关键技术研究及仪器研制（2017YFF0209700）”等国家级科研课题的相关成果为基础进行了综合凝练，并在近 20000 公里的长输管网进行了工程试应用，从而确定的。

1) 确定本标准的适用范围

适用于油气管道漏磁内检测系统对缺陷的检测概率、识别概率和综合性能的测试与评价。

2) 性能测试与评价内容

内检测设备性能的测试内容和评价流程进行了明确。

3) 测试条件

对测试用牵拉试验台、牵引力、牵引速度、牵引温度、牵引场地等测试条件提出具体的要求。

4) 牵引测试

本章规定了内检测器的参数的确认及牵引测试的具体要求。

5) 检测数据质量评估及分析识别

本章规定的检测数据质量评估、完整性检查、缺陷及特征识别与定位能力比对的具体方法和要求。

6) 性能评价程序及报告

本章规定了检测器缺陷检测阈值、检测概率、识别概率、置信度、里程钟点误差的评价方法。

3 综述报告及预期经济效益

石油和天然气管道是安全可靠的能源运输方式，被认为是经济发展的动脉，与人们的生活、社会和经济密切相关。截止 2019 年底，我国长输油气管道总里程达 16.9×10^4 km，到 2025 年，全国油气管网规模将达到 24×10^4 km。油气管道具有点多、线长、运行环境复杂的特点，自然灾害和人为因素时刻影响管线运行安全，由于管体缺陷造成的安全事故时有发生。此类设施一旦发生事故，经济损失惨重、社会影响恶劣、环境污染严重。管道内检测是国内外管道行业公认的管道缺陷检测有效手段，对避免管道安全事故的发生起到不可替代的作用。国际上已立法明确应用内检测方法进行定期的管道检测；《GB32167-2015 油气输送管道完整性管理规范》中规定：内检测评价技术应作为首选的管道检测评价手

段。管道内检测是以管道输送介质压力差作为动力源,对管道进行在线无损检测,以确定管道的变形、腐蚀、裂纹等多种缺陷,为管道运行、维护及安全评价提供科学依据,在诸多类型的管道内检测器中,漏磁检测内检测器是应用最广泛、技术最成熟、最可靠的管道缺陷内检测装备。

随着管道内检测行业的蓬勃发展,国内出现了多家管道漏磁内检测设备的研发企、事业单位,但各个单位的人员素质、设计、加工、组装等参差不齐,导致管道漏磁内检测器的关键性能存在明显差异,设备综合性能指标较低的漏磁内检测器在现场管道内检测的工程应用中错检、误检的情况时有发生,如何对漏磁内检测器的性能进行测试与评价,判断其是否满足管道缺陷检测的要求,提升国内内检测器整体性能水平,实现管道内检测装备国产化替代具有极高的经济价值。

本标准适应国家有关法规、规章中长输油气管道检验检测要求和工程需要,提出对内检测器性能检验与评价方法。

4 标准水平

目前国际上鉴定内检测器性能标准主要有 API STD 1163、工程应用主要有 NACE TR35100、NACE RP0102、人员资质认定 ASNTILI-PQ;国内标准《油气管道内检测技术规范》(SY/T6597-2018)、《钢质管道内检测技术规范》(GB27699-2011)给出了检测器的性能指标及从检测数据的方面提出了验证检测器检测结果的方法。国内尚无牵引试验的具体执行方法以及使用牵引试验验证检测器性能的具体标准,本标准填补了该领域的空白。

本标准是根据我国长输管道内检测工程实际,在对前期研究成果的凝练与整合、工程适用性研究的基础上,充分考虑国内外内检测装备水平的差距,充分考虑我国特种设备安全监察的总体要求,与我国的经济水平、社会保障条件以及有关安全技术法规相适宜,是国内外同类方法不能替代的。

5 与有关的现行法律、法规和强制性国家标准的关系

《钢质管道内检测技术规范》(GB27699-2011)和《油气管道内检测技术规范》(SY/T6597-2018)给出了漏磁检测器工艺操作方法和检测结果的验证方法。迫切需要针对内检测器性能测试和评价的方法。

本标准通过研究与应用工作,制定内检测器测试和评价方法,解决内检测器性能测试和评价问题,为内检测器性能评估提供科学的测试方法体系,保障内检

测器性能能够满足检测需求。本标准给出了具体明确的内检测器测试和评价方法。

本标准是为适应国家有关法规、规章中关于长输管道内检测要求而提出的具体测试与评价方法。

6 重大分歧意见的处理经过和依据

无。

7 本标准属性

议本标准作为我国特种设备检验行业团体标准。

8 贯彻国家标准的要求和措施建议

1) 标准发布后，应组织对实施标准的单位和技术人员进行宣贯培训；

2) 主管部门对标准的实施情况进行检查，发现问题及时反馈，确保本标准的贯彻实施。

9 废止现行有关标准的建议

无。

10 其他应予说明的事项

无。

《油气管道内检测器性能测试与评估》

标准编制工作组