

团 体 标 准

T/CASEI ××××—××××

埋地钢质管道多频电磁检测方法

Method for Multi-frequency Electromagnetic Inspection of Buried Steel
Pipelines

（征求意见稿）

××××-××-××发布

××××-××-××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 总则 2

5 管道数据收集..... 3

6 检测系统 4

 6.1 检测仪器..... 4

 6.2 检测仪器核查 4

 6.3 检测数据分析软件 5

7 管道检测 5

 7.1 检测前准备 5

 7.2 现场检测 6

 7.3 数据处理及分析..... 7

 7.4 检测结果处理 9

8 检测记录和报告..... 10

 8.1 记录 10

 8.2 报告 10

附 录 A 管道信息调查表..... 11

附 录 B 检测数据记录表..... 12

附 录 C 检测报告模板..... 13

前 言

本文件按 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：。

本文件主要起草人：。

本文件为首次发布。

埋地钢质管道多频电磁检测方法

Method for Multi-frequency Electromagnetic Inspection of Buried Steel Pipelines

1 范围

本文件规定了埋地钢质管道多频电磁检测技术的设备自检、检测实施、缺陷识别、检测记录和报告等技术内容。

本文件适用于输送油、气介质等流体介质的埋地钢质管道，管道埋深不应大于 2m，单段检测长度不宜大于 1.5km。本方法可检测识别出深度不小于 1mm 的管道外壁金属损失缺陷，以及剩余壁厚不大于 3mm 的管道内壁金属损失缺陷。

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。

GB/T 19285 埋地钢质管道腐蚀防护工程检验
GB/T 30582 基于风险的埋地钢质管道外损伤检验与评价
GB/T 32167 油气输送管道完整性管理规范
SY/T 0087.1 钢质管道及储罐腐蚀评价标准 第 1 部分：埋地钢质管道外腐蚀直接评价
SY/T 6151 钢质管道管体腐蚀损伤评价方法
T/CI 382 非开挖地下管线精确探测技术规程
GB/T 13869 用电安全导则

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1 管道多频电磁检测 Multi-frequency Electromagnetic Pipeline Inspection

由管道壁厚减薄对不同频率电磁信号造成影响，通过对不同频率电磁信号的变化特征进行反演分析，获得管道金属损失缺陷信息的检测方法。

3.2 缺陷 defect

管道金属损失或其他影响管道完整性的异常。

3.3 金属损失 metal loss

因金属消失导致的管道壁厚减薄。金属损失通常是由于腐蚀、机械损伤及管材缺陷造成的。

3.4 内壁金属损失 internal metal loss

发生在管壁内表面的金属损失。

3.5 外壁金属损失 external metal loss

发生在管壁外表面的金属损失。

3.6 检测阈值 detection threshold

为获得指定的检出概率，某一特征尺寸超出的临界值。

3.7 检出概率 (POD) probability of detection

检测器检测出管道特征的概率。

3.8 识别概率 (POI) probability of identification

能够正确识别被检测到的异常或其他特征的概率。

3.9 多频激励电流 multi-frequency excitation current

通过电缆-管道回路施加在管道上的多个不同频率的交变电流，用于激发管道周围电磁场。

3.10 步进式检测 step-by-step inspection

检测人员携带检测仪器沿管道走向按固定间距逐点移动，并在每个检测点静置采集信号的检测方式。

3.11 检测灵敏度 detection sensitivity

检测系统能够识别出的最小金属损失缺陷深度或最小剩余壁厚变化量。

3.12 信噪比 signal-to-noise ratio (SNR)

检测信号中有用信号功率与噪声信号功率的比值，通常用分贝 (dB) 表示。

3.13 差分特征量 differential characteristic parameters

用于管道缺陷识别的无量纲特征参数，定义为不同频率下铅垂方向与水平方向磁感应强度比值之差。其中 D1、D2、D3 分别对应第 2、第 3、第 4 频率与第 1 频率的差分结果，具体计算方法见 7.3。

4 总则

4.1 一般要求

4.1.1 采用本文件进行埋地钢质管道多频电磁检测时，除应遵循本文件的规定外，还应遵守国家有关部门颁布的相关法律、法规和规章。

4.1.2 采用本文件进行埋地钢质管道多频电磁检测时，应充分了解管道的运行状况，做好管道的潜在风险识别，制定相应的风险防控措施。

4.1.3 检测作业应遵循以下基本原则：

- a) 安全第一：确保人员、设备和管道运行安全；
- b) 数据完整：检测数据真实、完整、可追溯；
- c) 科学规范：方法科学、操作规范、结果准确；
- d) 环境保护：减少对周边环境的影响。

4.2 安全作业要求

4.2.1 检测作业前应进行安全风险评估，制定安全措施和应急预案。

4.2.2 在易燃易爆区域进行检测作业时，应使用防爆型检测设备，并遵守相关防火防爆规定。

4.2.3 遇恶劣天气应暂停作业并采取安全防护措施。

4.3 环境条件要求

4.3.1 检测作业宜在环境温度-10℃~+45℃、相对湿度不大于 85%的条件下进行。

4.3.2 检测现场应避免强电磁干扰。当现场存在以下干扰源时，应评估其对检测结果的影响，必要时在选取检测激励电流频率时避开干扰信号频率或更换检测时段。

常见干扰源包括：

- a) 高压输电线路、变电站等强电设施；
- b) 电气化铁路、轨道交通等交通设施；
- c) 管道附近的其他金属管线、电缆；
- d) 大型金属构筑物、机械设备。

4.3.3 检测时地表应无明显积水、无影响设备稳定放置的障碍物。

4.4 人员要求

从事多频电磁检测的人员应经过专业培训，具备以下能力：

- a) 熟悉多频电磁检测原理，掌握设备操作、数据处理和缺陷识别方法；
- b) 能够独立制定检测方案、处理技术问题和审核检测报告；
- c) 能够组织、指导检测作业。

5 管道数据收集

5.1 检测前应收集检测所需的相关管道数据，数据收集应全面、准确，并建立数据档案。

5.2 应收集的管道基础数据包括：

- a) 管道的材质、钢级、实际外径、公称壁厚及制造标准；
- b) 管道的设计压力、设计温度、运行压力、运行温度及输送介质类型；
- c) 管道的敷设方式（埋地、穿越、跨越等）、埋深范围及敷设年代；
- d) 管道类型（无缝钢管、直缝焊管、螺旋缝焊管）；
- e) 防腐层类型、厚度及阴极保护情况。

5.3 应收集的管道运行环境数据包括：

- a) 管道沿线地形地貌、土壤类型、土壤电阻率；
- b) 管道并行或交叉的其他管线、电缆分布情况；
- c) 管道周边建（构）筑物、道路、水体分布情况；
- d) 管道沿线杂散电流干扰源分布情况；
- e) 管道测试桩、标志桩分布情况及完好性。

5.4 应收集的管道历史数据包括：

- a) 历次检测、检验资料及评价报告；
- b) 管道失效与维修记录，包括泄漏、穿孔、修复位置及修复方式；
- c) 管道腐蚀调查资料及腐蚀速率评估结果；
- d) 管道改造、更换管段记录。

5.5 数据收集方法和来源：

- a) 管道基础数据应从设计文件、竣工资料、运行维护记录中获取；
- b) 运行环境数据应通过现场勘查、测量获取；
- c) 历史数据应从管道运营单位档案管理部门获取，并核实数据的完整性和准确性。

5.6 数据质量控制要求：

- a) 收集的数据应进行核对，确保数据的一致性和准确性；
- b) 当不同来源的数据存在矛盾时，应进行核实并以最新、最可靠的数据为准；
- c) 数据缺失时，应在检测方案中说明，并评估对检测结果的影响；
- d) 所有收集的数据应建立电子档案，随检测记录、报告进行存档。

6 检测系统

6.1 检测仪器

6.1.1 检测仪器应至少具备以下功能：

- a) 能够同时感知水平 X 方向、铅垂 Y 方向的磁场信号；
- b) 能够实时记录检测位置，定位精度满足 6.1.2 的要求；
- c) 能够实时记录传感器采集的信号，并能够将检测信号传输给计算机；
- d) 具备便携移动检测能力，整机重量不大于 10kg；
- e) 连续检测时间不少于 8h，待机时间不少于 24h。

6.1.2 检测仪器性能指标应至少满足以下要求：

- a) 磁场测量的量程不低于 $\pm 0.1\text{mT}$ ；
- b) 磁场测量的分辨率不大于 $1 \times 10^{-11}\text{T}$ ；
- c) 定位误差不大于 $\pm 0.5\text{m}$ ；
- d) 采样率不小于 1024Hz；
- e) 传感器数量不少于 4 个；
- f) 各通道相位一致性误差不大于 1° ；
- g) 系统噪声水平不大于 $10\text{pT}/\sqrt{\text{Hz}}$ 。

6.1.3 传感器布置方式应符合以下要求：

- a) 传感器阵列应沿垂直于管道轴向的方向布置；
- b) 传感器中心连线应与管道轴线垂直，偏差角度不大于 15° ；
- c) 传感器阵列跨度应覆盖管道上方及两侧各不小于 0.3m 的范围。

6.2 检测仪器核查

6.2.1 检测仪器应至少每月进行一次核查，内容应至少包括：

仪器定位精度、系统噪声水平、缺陷检测阈值、缺陷检出概率（POD）及缺陷识别概率（POI）等内容。

6.2.2 当仪器发生以下情况时，应重新进行核查校准：

- a) 更换主要部件（传感器、信号处理模块等）；

-
- b) 受到强烈冲击或振动；
 - c) 长期存放后首次使用（超过 6 个月）。

6.3 检测数据分析软件

6.3.1 应有与检测设备配套的检测分析软件，软件应具备以下功能：

- a) 分析检测数据质量的能力，能够自动识别数据异常（如信号饱和、数据缺失、信噪比过低等）；
- b) 对检测数据进行频谱分析，提取指定频率的信号幅值；
- c) 能够进行数字滤波、去噪等数据预处理；
- d) 能够按照 7.3 规定的方法进行数据处理分析，计算差分特征量 D1、D2、D3；
- e) 能够显示缺陷识别结果，包括缺陷位置、缺陷深度或剩余壁厚等信息；
- f) 能够解析管道缺陷的坐标位置；
- g) 能够保存、输出检测结果数据表格，支持 Excel、CSV 等通用格式；
- h) 内置管道缺陷数据库，支持根据差分特征量查询缺陷类型和程度。

6.3.2 软件数据格式要求：

- a) 原始数据应保存为不可修改的格式；
- b) 处理后的数据应包含位置信息、传感器编号、频率信息及处理参数；
- c) 数据文件应确保完整性。

7 管道检测

7.1 检测前准备

7.1.1 检测人员应依据待检管线信息及勘查情况，制定检测方案。检测方案应包括以下内容：

- a) 任务来源和检测目的；
- b) 管道基本信息（材质、规格、长度、敷设情况等）；
- c) 管道运行状态及检测期间的运行工况；
- d) 检测范围、检测流程和检测方法；
- e) 人员配备及职责分工；
- f) 进度安排和时间节点；
- g) 安全风险评估及防控措施；
- h) 质量保证措施；
- i) 应急预案。

7.1.2 检测前应完成以下准备工作：

- a) 确认检测仪器核查结果符合要求；
- b) 检查检测仪器电池电量，确保满足检测作业时间要求；
- c) 检查数据存储空间，确保满足检测数据存储需求；
- d) 准备备用传感器、电缆等耗材；
- e) 确认检测分析软件版本为最新版本，数据处理参数已配置；

- f) 与管道运营单位协调, 获取管道运行工况信息及现场配合;
- g) 办理现场作业许可手续, 落实安全防护措施。

7.1.3 检测前应进行现场踏勘, 确认以下内容:

- a) 管道实际走向、埋深及地面标识情况;
- b) 检测路径的可通行性, 是否存在障碍物;
- c) 现场电磁环境状况, 识别可能的干扰源;
- d) 检测期间的气象条件预测。

7.2 现场检测

7.2.1 管道位置探测

利用管道位置探测设备确定管道位置, 记录管道坐标及埋深信息。管道位置探测设备精度及检测要求如下:

- a) 设备精度要求: 管道平面位置定位误差不大于 $\pm 0.3\text{m}$;
- b) 设备精度要求: 管道埋深测量误差不大于 $\pm 0.5\text{m}$;
- c) 检测要求: 沿管道走向每 5m 记录一个坐标点, 弯头、三通等特征点处应加密记录。

7.2.2 检测实施

检测实施应按照以下步骤进行:

1) 管道环境电磁干扰调查:

利用磁场探测装置沿管道沿线进行电磁干扰调查, 记录管道环境中存在的电磁干扰频率及强度。当干扰信号频率与激励电流频率一致时, 应调整激励电流频率(避开干扰频率)。

2) 多频激励电流频率选择:

选择 4 个频率的交变电流施加在被检管道上, 频率的选择参照表 1 所示频率区间。所选择的激励电流频率应避开管道环境中存在的电磁干扰成分。

3) 电流施加:

将设置好的多频交变电流通过电缆-管道回路施加在被检管道上。电流施加点应选择在管道测试桩或易于连接的裸露管段处。施加电流强度应使管道上方地面磁场强度不小于 $1\ \mu\text{T}$ 。

4) 步进式检测:

检测人员携带检测仪器沿管道走向实施步进式检测(检测示意如图1所示), 具体要求如下:

- a) 检测器的传感器应与管道轴向垂直, 传感器中心与管道轴线的水平偏差不宜超过 0.3m ;
- b) 每个检测点间隔 0.5m , 在弯头、三通、阀门等特征部位应加密至 0.25m ;
- c) 每个检测点检测器需要静置采集不少于 10s ;
- d) 在检测采集信号过程中检测人员应尽量减少位置移动, 避免引入振动干扰;
- e) 检测方向宜从电流施加点向远端进行, 或根据现场条件确定统一的检测方向;
- f) 检测器采集完信号自动将检测信号及坐标信息存入存储卡中, 在有网络地区可同时通过物联网将数据发送至远程数据处理终端。

7.2.3 异常点复测要求

- a) 当检测到异常信号时, 应在异常点及其前后各不少于 5 个检测点范围内进行复测;
- b) 复测时应适当调整传感器位置, 确认异常信号的稳定性和可重复性;
- c) 对于疑似缺陷信号, 应记录异常点的精确坐标、信号特征及现场环境情况;
- d) 当异常信号无法确认时, 应标记为“待确认”, 并在检测报告中说明。

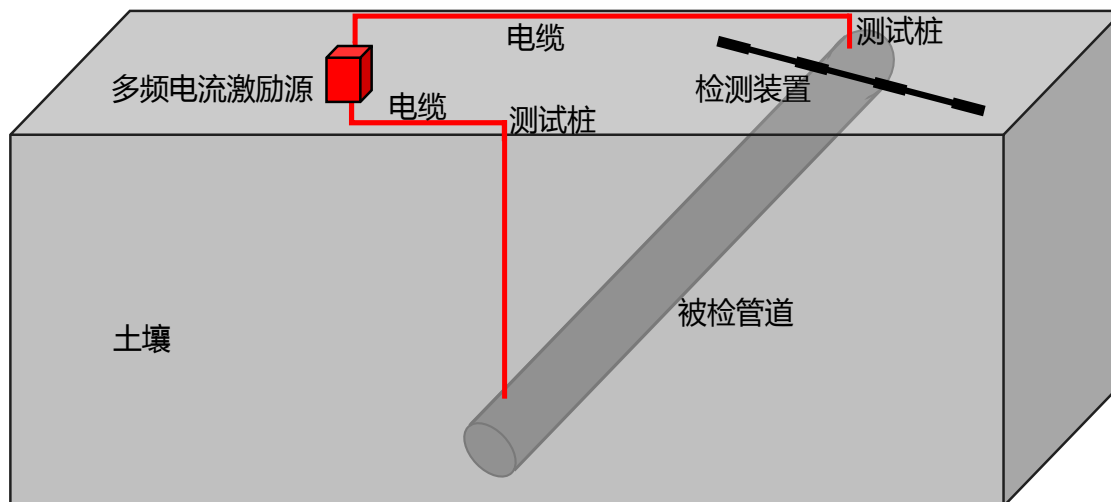


图 1 埋地钢质管道多频电磁检测示意图

表 1 多频激励电流频率选取参照表

频率选取区间	频率区间最小值 (Hz)	频率区间最大值 (Hz)
区间1	2.1	2.8
区间2	4.1	6.3
区间3	11.3	25.4
区间4	70.4	101.4

7.3 数据处理及分析

7.3.1 数据质量检查

通过数据线或者物联网将检测数据传输至数据处理软件，软件将自动检查检测数据的质量，剔除不符合检测要求的数据。数据质量评判标准如下：

- 信噪比 (SNR) 不小于 20dB；
- 信号未出现饱和（幅值不超过量程的 90%）；
- 定位数据连续，无异常跳变。

7.3.2 数据处理流程

数据处理应按照以下步骤进行（见图2）：

a) 频谱分析：

通过数据处理分析软件对检测数据进行频谱分析，提取所有传感器采集得到的与激励交变电流频率一致的信号幅值和相位。定义4个频率对应的水平方向的磁感应强度值分别为 $|B_{x_f1}|$ 、 $|B_{x_f2}|$ 、 $|B_{x_f3}|$ 及 $|B_{x_f4}|$ ，铅垂方向的磁感应强度值分别为 $|B_{y_f1}|$ 、 $|B_{y_f2}|$ 、 $|B_{y_f3}|$ 及 $|B_{y_f4}|$ 。

b) 比值运算：

将铅垂方向的磁感应强度值与水平方向的磁感应强度值做比值运算，得到各频率的比值特征量：

$$R1 = |B_{y_f1}| / |B_{x_f1}|$$

T/CASEI ×××××—××××

$$R2 = |By_f2| / |Bx_f2|$$

$$R3 = |By_f3| / |Bx_f3|$$

$$R4 = |By_f4| / |Bx_f4|$$

c) 差分运算:

分别将第2个、第3个及第4个频率的比值特征量减去第1个频率的比值特征量, 得到差分特征量:

$$D1 = R2 - R1 = |By_f2| / |Bx_f2| - |By_f1| / |Bx_f1|$$

$$D2 = R3 - R1 = |By_f3| / |Bx_f3| - |By_f1| / |Bx_f1|$$

$$D3 = R4 - R1 = |By_f4| / |Bx_f4| - |By_f1| / |Bx_f1|$$

d) 缺陷识别:

解析检测坐标信息, 将c) 计算得到的差分特征量D1、D2、D3通过配套检测分析软件查询缺陷数据库, 实现对管道缺陷的检测识别。查询时应根据传感器距离管道中心轴的实际距离, 结合D1、D2、D3的值匹配最接近的缺陷程度。

7.3.3 数据处理方法说明

a) 频谱分析宜采用快速傅里叶变换 (FFT) 算法;

b) 当差分特征量超出缺陷数据库范围时, 应标记为“超量程”, 并采用其他检测方法验证。

7.3.4 缺陷判定准则

缺陷判定应综合考虑差分特征量 D1、D2、D3 的值及变化趋势, 判定准则如下:

a) 当 D1、D2、D3 均接近 0 时, 判定为完好管道;

b) 当 D1、D2、D3 呈现规律性变化且与缺陷数据库中某深度缺陷特征匹配时, 判定为该深度的金属损失缺陷;

c) 当缺陷信号特征不明确时, 应标记为“疑似缺陷”, 建议进行复测或其他方法验证。

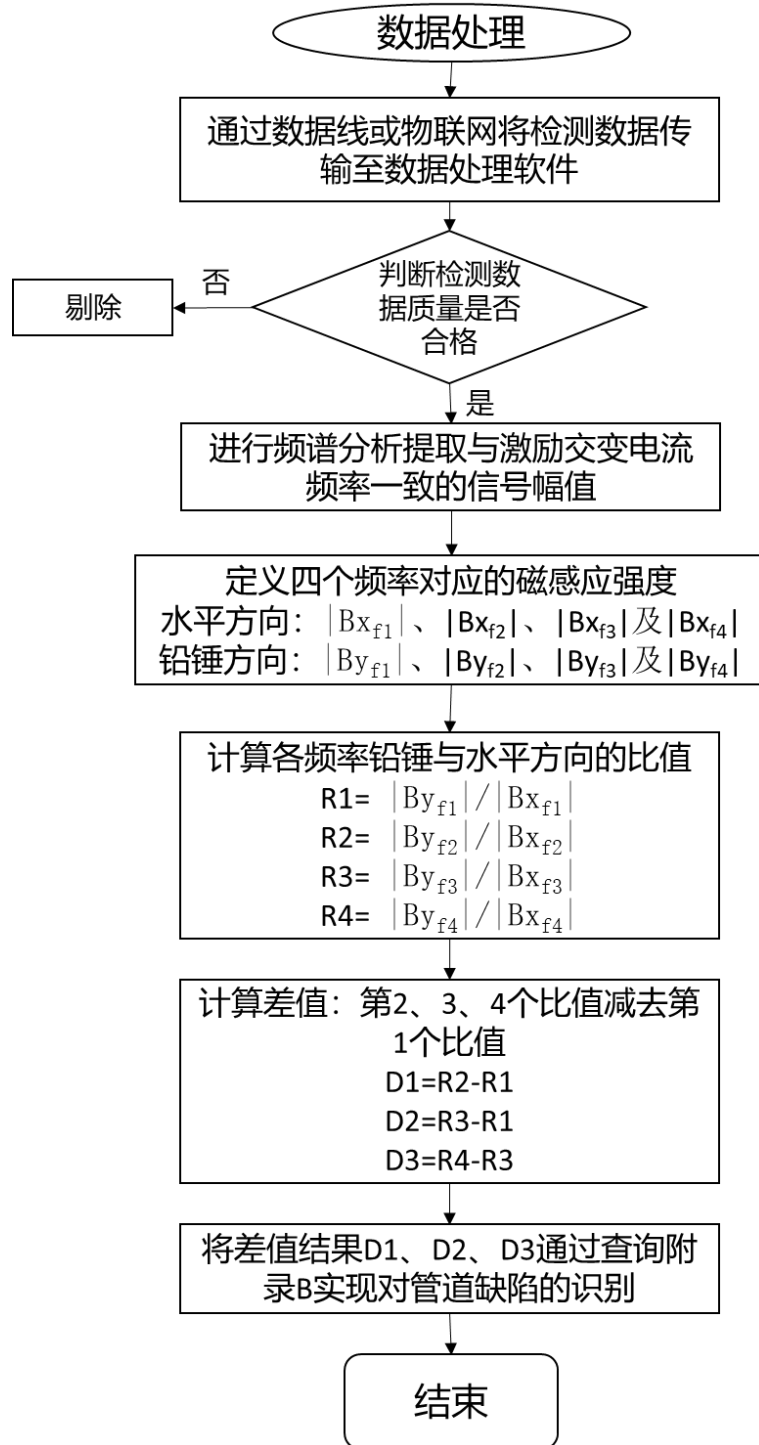


图 2 检测数据处理分析流程

7.4 检测结果处理

7.4.1 应保留各项检测原始记录或信号。

7.4.2 应根据检测结果，编制形成检测报告，及时录入到管理台账中。

7.4.3 应根据检测结果及时制定响应措施，响应措施包括：

- a) 对于严重缺陷（缺陷深度大于 50%壁厚或剩余壁厚小于 3mm），应立即进行开挖验证；
- b) 对于一般缺陷（缺陷深度 30%~50%壁厚），应制定开挖计划，在 6 个月内完成验证；
- c) 对于轻微缺陷（缺陷深度 10%~30%壁厚），应加强监测；
- d) 对于验证确认的严重金属损失缺陷应进行缺陷评价，并根据评价结果制定维修维护方案。

7.4.4 检测结果宜与历史检测数据进行对比分析，评估缺陷发展趋势。本方法不适用于管道剩余寿命预测。

8 检测记录和报告

8.1 记录

8.1.1 应按检测流程的要求记录相关信息，并按相关法规、标准和（或）合同要求保存所有记录。

8.1.2 检测记录应包括以下内容：

- a) 检测任务书或合同；
- b) 检测方案及审批记录；
- c) 管道信息调查表（见附录 A）；
- d) 检测数据记录表（见附录 B）；
- e) 仪器核查记录；
- f) 现场检测原始数据文件；
- g) 数据处理分析报告；
- h) 检测过程中的异常情况处理记录。

8.1.3 记录应真实、完整、清晰，不得涂改。如需修改，应由原记录人签字确认，并注明修改日期和原因。

8.1.4 电子记录应采取防篡改措施，确保数据完整性和可追溯性。

8.2 报告

8.2.1 检测报告至少应包括以下内容：

- a) 委托单位和检测单位的名称、资质证书编号；
- b) 检测仪器名称、型号、出厂编号，设备性能至少包含缺陷检测阈值、缺陷检出概率、缺陷识别概率；
- c) 被检管道的信息（管道名称、位置、规格、材质、长度、运行参数等）；
- d) 执行与参考的标准；
- e) 检测方法的简单描述，包括激励频率、检测间距、传感器布置方式等；
- f) 检测结果分析的简单描述，包括数据处理方法和缺陷判定依据；
- g) 被检管道缺陷位置信息（坐标）及缺陷量化结果（缺陷深度、剩余壁厚等）；
- h) 检测结果；
- i) 检测人员和审核人签字；
- j) 检测日期及报告签发日期。

8.2.2 检测报告格式应符合附录 C 的要求。

附录 A 管道信息调查表

（资料性附录）

管道信息	参数
管道名称	
管道外径/mm	
管道壁厚/mm	
管道材质/钢级	
管道长度/km	
输送介质	
设计压力/MPa	
运行压力/MPa	
设计温度/℃	
运行温度/℃	
管道类型（无缝/直焊缝/螺旋焊缝）	
防腐层（类型及厚度）	
阴极保护情况	
保温层（类型及厚度，如有）	
管道埋深范围/m	
管道敷设年代	
管道并行或交叉情况	
管道测试桩分布情况	
管道检测历史	
管道穿孔泄漏情况	
管道维修历史	
缺陷主要分布区域	
记录人： 时间：	校对入： 时间：

表 A.1 管道信息调查表

填写说明：

- 1) 本表应在检测前由检测人员与管道运营单位共同填写；
- 2) “管道检测历史”应填写历次检测时间、检测方法、主要发现及处理情况；
- 3) “管道穿孔泄漏情况”应填写泄漏时间、位置、原因、修复方式及修复后运行情况；
- 4) “管道维修历史”应填写维修时间、位置、维修方式（换管、补板、堆焊等）及维修后检测情况；
- 5) 如某项信息无法获取，应在对应栏注明“未获取”并说明原因。

附 录 B 检测数据记录表

(资料性附录)

表 B. 1 检测数据记录表

表 B. 1 给出了检测数据记录表的格式。检测原始数据由检测仪器自动存储，本表记录关键检测信息。

检测点 编号	桩号/ 里程/m	坐标 (X,Y)	传感器距管道 中心距离/m	信噪比 SNR/dB	备注
1	0+000	XXX.XX, YYY.YY	-2.50	32.5	起始点
2	0+005	XXX.XX, YYY.YY	-2.45	31.8	
3	0+010	XXX.XX, YYY.YY	-2.40	33.1	
...	...	...	...	...	...
N	0+500	XXX.XX, YYY.YY	-2.55	32.0	终止点

填写说明：

- 1) 本表为现场检测原始记录，应在检测过程中实时填写；
- 2) “检测点编号”应与检测仪器存储的数据文件编号一致；
- 3) “桩号/里程”以管道起始测试桩为 0+000，向远端递增；
- 4) “坐标”宜采用 CGCS2000 坐标系或当地坐标系；
- 5) “备注”栏应记录检测过程中的异常情况、环境变化等；
- 6) 检测原始数据由仪器自动存储，本表记录关键检测信息。

附录 C 检测报告模板

(资料性附录)

C.1 报告封面

表 C.1 报告封面

项目	内容
管道名称	
报告编号	
委托单位	
检测单位	
检测日期	
报告签发日期	

C.2 检测概况

- a) 检测目的:
- b) 检测范围:
- c) 检测依据:
- d) 管道基本信息: (参照附录 A 填写)
- e) 检测仪器信息:
- f) 检测人员:

g) 检测日期:

C.3 检测方法描述

- a) 激励电流频率: f_1 =__Hz, f_2 =__Hz, f_3 =__Hz, f_4 =__Hz
- b) 检测间距: __m
- c) 传感器布置方式:
- d) 数据采集时间: __s/点
- e) 数据处理软件及版本:

C.4 检测结果

C.4.1 管道完整性总体评价

应说明检测管段的整体状况, 包括发现的缺陷数量、类型、分布情况及总体评价结论。

C.4.2 缺陷列表

表 C.2 缺陷列表

序号	缺陷编号	位置(桩号/里程)	坐标	缺陷类型	外缺陷深度/mm	内缺陷剩余壁厚/mm
1	D-001	0+125	XXX. XX, YYY. YY	外壁金属损失	2.5	4.5
2	D-002	0+340	XXX. XX, YYY. YY	内壁金属损失	-	2.0

T/CASEI ×××××—××××

...	...	...	...	...	...	...
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

C.4.3 缺陷分布示意图（宜附管道走向图及缺陷位置标注）

C.5 处理措施建议

- a) 严重缺陷处理建议：
- b) 一般缺陷处理建议：
- c) 轻微缺陷处理建议：
- d) 疑似缺陷处理建议：

注：处理建议应结合管道运行工况、缺陷类型及相关标准规范综合确定。

C.6 签字栏

表 C.3 签字栏

编制人		日期	
审核人		日期	
批准人		日期	
单位盖章			

××××—××××

《埋地钢质管道多频电磁检测方法》

（征求意见稿）

编制说明

标准编制工作组
2026 年 4 月 11 日

《埋地钢质管道多频电磁检测方法》编制说明

(征求意见稿)

1 工作简况

1.1 任务来源

管道运输作为交通运输的第五大运输方式，具有运输能力强、能耗低、占地面积小、不受天气影响、安全可靠等优点。尤其是在石油、天然气等能源运输领域，管道运输发挥着不可替代的作用。截至 2024 年底，我国在役油气管道总长度已超过 19.5 万公里，油气管道的安全运行对国家公共安全和能源安全至关重要。《国务院安委会关于开展油气输送管线等安全专项排查整治的紧急通知》（安委〔2013〕9 号）针对 2013 年青岛输油管道爆炸事故暴露的问题，要求全国开展油气输送管线隐患全面排查，重点整治隐蔽工程设施隐患，强化管道腐蚀、占压等风险治理；国家市场监管总局《关于开展化工企业特种设备安全隐患排查整治“百日攻坚”行动的通知》（2023 年）要求落实法定检验制度，严查管道腐蚀、焊缝缺陷等隐患。本标准在编制过程中坚持安全发展理念，主要参考了国家“十四五”重点研发计划项目“高压大口径油气管道泄漏应急处置技术与装备”的研究成果，以理论基础研究为基础，以科学的实验数据为依据。该标准由中国特种设备检验协会批准立项，并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

中国特种设备检测研究院、中国石油大学（北京）、中国矿业大学（北京）、中国石油天然气股份有限公司西南油气田分公司。

2 编制原则和主要内容

2.1 编制原则

- 标准的编写格式按国家标准 68/1 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》的规定和要求进行编写；
- 本标准充分考虑油气管道安全运行关系到公共安全和人民群众日常生活的实际情况，采取相应技术手段确保油气管道检测的安全性和可靠性；
- 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) 充分考虑我国对油气管道完整性管理的总体要求、多频电磁检测技术及特点、我国企业技术经济水平和管理水平、人员素质等实际情况;

5) 为检测人员和企业安全管理提供技术支撑;

6) 满足标准的科学性、先进性、适用性原则。

2.2 标准主要内容说明

本标准给出了埋地钢质管道多频电磁检测技术规范,由 8 个章节和 4 个附录组成,包括:范围、规范性引用文件、术语和定义、总则、管道数据收集、检测系统、管道检测、检测记录和报告、附录 A(管道信息调查表)、附录 B(管道缺陷识别表)、附录 C(检测数据记录表)、附录 D(检测报告模板)。附录均为资料性附录。

1) 确定本标准的适用范围:规定本标准适用于输送油、气等流体介质的埋地钢质管道,仅能对管道外壁金属损失缺陷深度不小于 1mm 及内壁金属损失剩余壁厚不大于 3mm 的缺陷实施检测。本标准不适用于非金属性材料管道及管道埋深大于 2m 的检测场景。

2) 总则:主要规定多频电磁检测作业的法规遵循要求、风险识别内容、安全作业要求、环境条件要求及人员资质要求。

3) 管道数据收集:该部分规定了检测前应收集的管道基础数据、运行数据、历史数据的具体内容、数据来源及数据质量控制要求,并明确了数据缺失时的处理措施。

4) 检测系统:本章规定了多频电磁检测设备的仪器功能要求、性能指标、校准要求、传感器布置方式、设备核查周期及内容,以及数据分析软件的功能要求和数据格式要求。

5) 管道检测:本章规定了现场检测作业的基本操作步骤,包括检测前准备、仪器检查、管道位置探测、检测实施、数据处理及分析、检测结果处理等全过程要求。明确了多频激励电流的频率选择范围、频率选择原则、电流施加方式、检测信号采集要求、数据处理方法步骤、异常点复测要求及数据质量评判标准等内容。

6) 检测记录和报告:本章规定了管道检测过程中应保存的现场数据资料信息、数据保存期限、报告中涵盖的内容要求。

3 综述报告及预期经济效益

管道内检测技术(如智能检测器,俗称"管道猪")是目前最先进的管道完整性评估手段之一,但它对管道几何结构有严格限制。当管道存在以下一种或多种情形时,即被归类为"不可内检测"管道:含有小半径弯头、管径变化、未设置收发球筒,或者存在无挡条三通等结构障碍。此外,许多位于城市中心区、工业设施内部或环境敏感区域的管道,受限于地面条件,也无法通过传统内检测手段进入。据国际研究统计,全球约有一半的埋地配气管道和老旧长输管道不具备内检测所需的基

基础设施条件，这部分的管道长期以来缺乏可靠的完整性评估手段。在中国，这一问题同样突出：我国油气储运设施体量大、环境复杂、可达性差，安全检测手段原始且破坏性大，面临国外技术封锁和检测服务垄断的困境。管道一旦发生泄漏，将造成巨大经济损失，严重时还会对人民生命安全构成威胁。

多频电磁技术通过对无法内检测的管道实施全面检测，有效降低了因腐蚀穿孔导致的泄漏事故概率。这类事故的直接经济损失包括介质泄漏损失、停产损失、环境清理修复费用、罚款等，而间接损失（如品牌信誉损害、法律诉讼赔偿等）往往更为惊人。常规的无损检测手段通常需要开挖出管道，而目前现有的非开挖无损检测手段（如瞬变电磁、磁力层析技术等）对环境的电磁干扰较为敏感，仅能够针对特定环境中的检测有较好的效果。

多频电磁非开挖检测技术是一种利用传感器在地表采集管道周围磁场信号，通过分析磁场异常信号的特征，实现对管道金属损失缺陷的识别及量化的新技术。其核心技术工作流程如下：向管道施加多频交流电流，在地面测量由此产生的电磁场响应。多频电磁非开挖检测技术作为一种创新的外检测方法，通过在地面施加多频电流并分析电磁响应信号，能够在不开挖、不停产的前提下有效识别和量化管道金属损失缺陷。

从经济效果来看，该技术的直接效益包括检测费用降低 50%~70%、避免大量不必要的开挖修复、避免停产损失以及延长管道服役寿命；间接效益则包括降低泄漏事故风险、减少环境损害与合规成本、提高检测效率、延缓资产折旧和拓展检测覆盖范围。据测算，对于一条 100km 的在役油气管道，采用多频电磁检测技术可节约检测成本约 100 万~150 万元，避免因泄漏事故造成的潜在经济损失可达数千万元。

4 与国际、国外同类标准水平的对比情况

目前，国内尚无专门针对埋地钢质管道多频电磁检测技术的国家标准或行业标准，主要依托管线探测、腐蚀评价等间接标准（如 GB/T 19285、SY/T 0087 系列）及团体标准（T/CI 382）进行支撑，标准化工作尚处起步阶段；而国外（ISO、ASTM、NACE/AMPP）虽在电磁检测领域拥有更成熟、更细化的标准体系（如 ASTM D6432、ISO 10893 系列），但上述标准多面向钢管制造阶段出厂检验或管线定位，并非直接针对在役埋地管道多频电磁非开挖检测这一特定场景。

针对埋地钢质管道多频电磁检测的专用技术规范的缺失现状，《埋地钢质管道多频电磁检测技术规范》标准的制定，可有效规范埋地钢质管道多频电磁检测的技术要求、操作流程和数据处理分析标准，提高埋地钢质管道非开挖检测技术能力，助力打破国外检测装备技术垄断、推动国产化，提升我国油气管道完整性管理的整体技术水平。综上，本标准达到国内先进水平。

5 与有关的现行法律、法规和强制性国家标准的关系

我国在埋地钢质管道检测领域已建立起以国家标准（如 GB/T 19285《埋地钢质管道腐蚀防护工程检验》、GB/T 30582《基于风险的埋地钢质管道外损伤检验与评价》、GB/T 34349/34350《输气/输油管道内腐蚀外检测方法》等）为引领，以石油行业标准（SY/T 0087 系列为主）为支撑，以团体标准（如 T/CI 382《非开挖地下管线精确探测技术规程》、T/CSPSTC《深埋管道数字化综合探测技术规程》等）为补充的多层级标准体系；同时参考国际标准（ISO 15589-1、ASTM E2775、EN 12889 等）推动技术对标与国际化。该体系覆盖了腐蚀防护检验、管体腐蚀评价、应力腐蚀开裂检测、基于风险的检验、内腐蚀外检测以及精确探测等全链条技术环节。本标准对埋地钢质管道的非开挖金属损失缺陷检测，与其他检测技术标准起到一个补充的作用。

6 重大分歧意见的处理经过和依据

无。

7 本标准属性

建议本标准作为团体标准。

9 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，确保相关人员准确理解和掌握标准内容；
- 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；
- 3) 建议建立标准实施效果评估机制，定期收集标准实施过程中的问题和建议，为标准的修订完善提供依据。

10 废止现行有关标准的建议

无。

11 其他应予说明的事项

无。

《埋地钢质管道多频电磁检测技术规范》
标准编制工作组