

黑 龙 江 省 地 方 标 准

DB XX/T XXXX—XXXX

埋地管道磁记忆检测指南

（征求意见稿）

（本草案完成时间：）

联系人:邢海燕

单位：黑龙江省特种设备检验研究院

联系电话：13504658981

电子邮箱：xxhyyhit@163.com

XXXX – XX – XX 发布

XXXX – XX – XX 实施

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 方法概要 2

5 人员配备 3

6 设备管理 3

 6.1 检测仪器 3

 6.2 检测仪器校准 3

 6.3 检测分析软件 3

7 检测指南 4

 7.1 检测准备 4

 7.2 检测过程 4

 7.3 检测结果处理 4

8 检测记录和报告 7

 8.1 记录 7

 8.2 报告 8

附录 A（资料性） 金属磁记忆检测结果记录与报告格式 9

 A.1 金属磁记忆检测记录 9

 A.2 金属磁记忆检测报告 10

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。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利，本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由黑龙江省特种设备检验研究院提出。

本文件由黑龙江省市场监督管理局归口。

本文件起草单位：黑龙江省特种设备检验研究院、东北石油大学、齐齐哈尔大学。

本文件主要起草人：

埋地管道磁记忆检测指南

1 范围

本文件提供了埋地管道磁记忆检测方法概要、人员配备、设备管理、监测及结果处理的指南。
本文件适用于埋地管道的磁记忆检测工作。

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 26641-2021 无损检测 磁记忆检测 总体要求

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

金属磁记忆

铁磁性物体经历磁场变化和磁-机械效应累积作用后的磁状态。

注：对于给定的磁场（例如地磁场），在其制造过程或运行过程中形成的铁磁物体，由于影响磁畴分布的各种环境因素，改变了其剩余磁化强度（例如：温度、机械载荷或材料的微观结构变化）。

3.2

表面磁场

离开或进入零件表面且非有意磁化该零件的磁场。

3.3

金属磁记忆检测

以对铁磁性金属材料或焊缝表面的自有漏磁场进行分析为基础，确定金属和焊缝的应力集中或损伤区域为目的的一种无损检测方法。

3.4

表面磁场矢量

采用被动磁场传感法测定的被检对象表面磁场强度。

3.5

表面磁场指示

由高机械应力/应变梯度引起的表面磁场的偏离。

注1：在具有局部磁导率变化的位置也形成表面磁场指示，这可能是由缺陷集中（例如引起的裂纹、点蚀）、金属组织中强异质的边界、杂质、突然的几何变化、内部和外部表面、与被检查物体的分离、不可逆变形（位错密度高）和化学成分的变化（例如沉积或浸出）等引起的。

注2：表面磁场指示不一定是缺陷的指示，需要解释以确定其相关性表面磁场指示取代应力集中区[只在机械应力集中的地方使用应力集中区SCZ（例如尖角、裂纹尖端）]。

3.6

表面磁场梯度

同一探头位置上，表面磁场随探头位置变化和/或时间变化的变化率。

3.7

表面磁场平均梯度

测量线和/或测量线之间表面磁场的平均斜率。

3.8

磁指数

用来评价表面磁场指示的表面磁场指示局部梯度与表面磁场指示平均梯度的比值。

3.9

表面磁场图

显示表面磁场分布和/或表面磁场梯度（3.6）和/或表面磁场平均梯度（3.7）和/或其他信号特征量与检测路径、检测时间的关系。

3.10

提离

被检对象表面与磁探头传感区域/体积中心之间的距离。

注：小的提离对表面磁场指示评价的可靠性至关重要。

3.11

两个检测路径之间的基准距离

调整传感器时设定的两个检测路径之间的距离。

3.12

磁记忆信号的记录间距

记录磁记忆信号时两个相邻测量点之间的距离。

3.13

磁记忆异常信号

磁记忆检测仪在被检件表面检测获取的随时间或空间变化突变量超过一定阈值时的信号。

4 方法概要

4.1 在地磁场以及外部载荷的共同作用下，铁磁介质内部的磁化强度发生变化，并在应力集中、塑性变形、疲劳损伤、碰撞缺陷以及腐蚀坑洞附近产生漏磁信号，磁记忆检测通过对检测路径上出现的畸变信号进行分析，评价材料应力集中程度。磁记忆检测原理示意图 1。

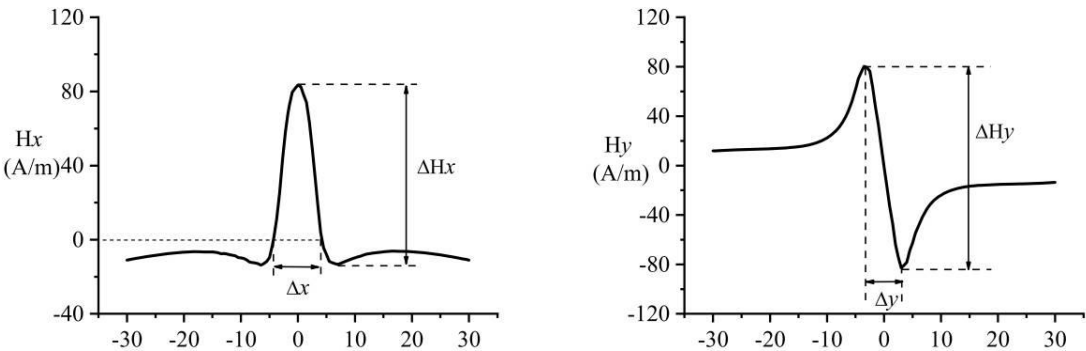


图1 磁记忆检测原理示意

4.2 磁记忆检测特点包括但不限于：

- a) 可以在不开挖的情况下非接触式检测，也可以开挖后接触式检测；
- b) 不需要停运、不需要清管等预处理，不需施加外部激励；
- c) 具有预警能力；
- d) 操作方便、简单，不受管道规格限制。

4.3 影响检测效果的因素如下：

- a) 存在金属的人工磁化，管道振动；
- b) 检测对象上存在结构物，如阀门、法兰等，以及外来铁磁性异物；
- c) 管道运行状况，如管道规格、运行压力、投入使用时间等；
- d) 不同区域大地磁场的差异性；
- e) 检测管道外部的磁场干扰，如高压线、铁磁质标志牌、并行管道、交叉管道等，增加损伤诱发磁场信号提取难度；
- f) 检测仪器的自身零部件，如电子元件、铁磁质元件等，增加损伤诱发磁场信号提取难度；
- g) 检测仪器与被检管道的距离，包括竖直提离距离、水平偏移距离等，影响测得磁场信号的强弱；
- h) 检测仪器与被检管道相对位置的变化，如管道埋深的变化、仪器姿态变化等，影响磁场信号测量准确性。

5 人员配备

埋地管道金属磁记忆检测人员经过专业培训和考核，获得雇主或其代理方检测授权。

6 设备管理

6.1 检测仪器

6.1.1 检测仪器包括但不限于以下功能：

- a) 探测埋地管道外磁场的空间分布；
- b) 消除外部环境磁场的影响；
- c) 实时显示磁通密度值和随时间与空间变化的曲线；
- d) 存储检测数据，传输至计算机上。

6.1.2 检测仪器包括但不限于以下性能：

- a) 量程不低于 $\pm 1000\text{A/m}$ ；
- b) 磁场测量的相对误差小于 $\pm 5\%$ ；
- c) 位移测量的相对误差小于 $\pm 5\%$ ；
- d) 磁场测量的分辨率不大于 1A/m 。

6.2 检测仪器校准

6.2.1 检测仪器每年至少校准一次，可自校或送校；

6.2.2 校准内容包括仪器主机、磁场传感器和位移传感器的校验；

6.2.3 磁场传感器采用标准磁场进行灵敏度和精度的校准；

6.2.4 位移传感器采用不少于 0.5m 的直线距离进行精度和重复性校验。

6.3 检测分析软件

配备与检测仪器配套的计算机用分析软件，具有对采集到的磁记忆信号检测后分析、处理和结果输出的功能。

7 检测指南

7.1 检测准备

7.1.1 检测准备主要内容为：

- a) 分析了解被检测对象技术资料 and 运行情况；
- b) 填写检测工艺卡；
- c) 调整、校准仪器和传感器；
- d) 检测传感器输出是否正常，电池电量、存储空间是否足够；
- e) 将检测区域划分成若干小区域并记录在原始记录表中。

7.1.2 对被检测对象的材料力学性能和尺寸、可能产生的损伤形式与损伤区域等方面进行分析。

7.2 检测过程

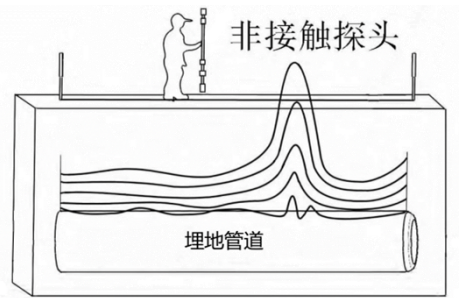


图2 磁记忆检测埋地管道示意

金属磁记忆检测技术针对埋地管道现场检测主要分为以下5个过程：

- a) 调研分析目标管道线路、管道所处的地形地貌；
- b) 清理地面，标记路线起点与终点，记录可能会对检测产生影响的管道焊缝、法兰、阀门以及地表物体，便于后期数据分析时，排除管道及其地面上的磁性物体造成的影响；
- c) 为保证检测长度和定位的准确，配合管道寻线仪与专用的测距装置测量检测长度，磁记忆检测埋地管道示意图 2。检测人员以恒定速度行进扫描至检测线路终点，查看并保存检测数据。对于检测仪器屏幕上比较明显的异常数据曲线，根据情况进行二次扫描检测，验证信号重复性和排除人为影响。重复上述步骤，直至所有检测完成；
- d) 根据磁记忆检测数据，综合评估异常检测区域，确定磁异常部分坐标及可能缺陷危险等级；
- e) 在管道路径上标记需挖掘校验坑的位置并挖掘，在校验坑内采用管道接触式磁记忆检测，根据校验坑的实际情况综合各种指数和磁异常情况，对危险等级和诊断结果做评价。

7.3 检测结果处理

7.3.1 磁场梯度法

7.3.1.1 每一检测路径任一磁场方向的磁场梯度值 K_{ij}^i ：

$$K_{i,j}^i = \frac{|\Delta H_{i,j}^i|}{\Delta l_j} = \frac{|H_{i,j+1} - H_{i,j}|}{\Delta l_j} \dots\dots\dots (1)$$

式中:

$K_{i,j}^i$ ——第*i*条检测路径上的第*j*个记录间距处的磁场梯度值, 单位 (A/m/m);

$\Delta H_{i,j}^i$ ——第*i*条检测路径上的第*j*个记录间距处的磁场强度差值, 单位 (A/m);

Δl_j ——磁记忆信号的记录间距, 单位 (m);

$H_{i,j+1}$ ——第*i*条检测路径上的第*j*+1个测量点处的磁场强度值, 单位 (A/m);

$H_{i,j}$ ——第*i*条检测路径上的第*j*个测量点处的磁场强度值, 单位 (A/m)。

7.3.1.2 检测路径之间任一磁场方向的磁场梯度值 $K_{i,j}^j$:

$$K_{i,j}^j = \frac{|\Delta H_{i,j}^j|}{\Delta l_i} = \frac{|H_{i+1,j} - H_{i,j}|}{\Delta l_i} \dots\dots\dots (2)$$

式中:

$K_{i,j}^j$ ——在第*j*个测量点处, 第*i*条检测路径与第*i*+1条检测路径之间的磁场梯度值, 单位 (A/m/m);

$\Delta H_{i,j}^j$ ——在第*j*个测量点处, 第*i*条检测路径与第*i*+1条检测路径之间的磁场强度差值, 单位 (A/m);

Δl_i ——两条检测路径之间的基准距离, 单位 (m);

$H_{i+1,j}$ ——第*i*+1条检测路径上的第*j*个测量点处的磁场强度值, 单位 (A/m);

$H_{i,j}$ ——第*i*条检测路径上的第*j*个测量点处的磁场强度值, 单位 (A/m)。

7.3.1.3 每一检测路径上的磁场梯度平均值 $\bar{K}_{i,j}^i$:

$$\bar{K}_{i,j}^i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n K_{i,j}^i \dots\dots\dots (3)$$

式中:

n ——每一检测路径上的磁记忆信号记录间距的数量。

7.3.1.4 检测路径之间的磁场梯度平均值 $\bar{K}_{i,j}^j$:

$$\bar{K}_{i,j}^j = \frac{1}{t} \sum_{i=1}^t K_{i,j}^j \dots\dots\dots (4)$$

式中:

t ——检测路径之间的间距数量。

7.3.1.5 表示管道损伤区域不均匀程度的磁指数 m_i 和 m_j :

$$m_i = \frac{K_{i,j}^{i,\max}}{\bar{K}_{i,j}^i} \dots\dots\dots (5)$$

$$m_j = \frac{K_{i,j}^{j,\max}}{\bar{K}_{i,j}^j} \dots\dots\dots (6)$$

式中:

$K_{i,j}^{i,\max}$ ——每一检测路径上的磁场梯度最大值;

$K_{i,j}^{j,\max}$ ——检测路径之间的磁场梯度最大值。

7.3.2 合成磁场梯度法

7.3.2.1 每一检测路径上的合成磁场梯度值:

$$K_{i,j}^{c,i} = \sqrt{\left| \frac{\Delta H_{ij}^i(x)}{\Delta l_j} \right|^2 + \left| \frac{\Delta H_{ij}^i(y)}{\Delta l_j} \right|^2 + \left| \frac{\Delta H_{ij}^i(z)}{\Delta l_j} \right|^2} \dots\dots\dots (7)$$

式中:

x, y ——两个相互垂直的切向方向, 其中 x 为探头扫描前进方向;

z ——被检对象表面的法线方向。

7.3.2.2 检测路径之间的合成磁场梯度值:

$$K_{i,j}^{c,j} = \sqrt{\left| \frac{\Delta H_{ij}^j(x)}{\Delta l_i} \right|^2 + \left| \frac{\Delta H_{ij}^j(y)}{\Delta l_i} \right|^2 + \left| \frac{\Delta H_{ij}^j(z)}{\Delta l_i} \right|^2} \dots\dots\dots (8)$$

7.3.2.3 每一检测路径上的合成磁场梯度平均值 $\overline{K}_{ij}^{c,i}$:

$$\overline{K}_{i,j}^{c,i} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n K_{i,j}^{c,i} \dots\dots\dots (9)$$

7.3.2.4 检测路径之间的磁场梯度平均值 $\overline{K}_{ij}^{c,j}$:

$$\overline{K}_{i,j}^{c,j} = \frac{1}{t} \sum_{i=1}^t K_{i,j}^{c,j} \dots\dots\dots (10)$$

7.3.2.5 表示管道损伤区域不均匀程度的合成磁指数 m_i^c 和 m_j^c :

$$m_i^c = \frac{(K_{i,j}^{c,i})_{\max}}{\overline{K}_{i,j}^{c,i}} \dots\dots\dots (11)$$

$$m_j^c = \frac{(K_{i,j}^{c,j})_{\max}}{\overline{K}_{i,j}^{c,j}} \dots\dots\dots (12)$$

式中:

$(K_{i,j}^{c,i})_{\max}$ ——每一检测路径上的合成磁场梯度最大值;

$(K_{i,j}^{c,j})_{\max}$ ——检测路径之间的合成磁场梯度最大值。

7.3.3 管道损伤区确定

金属磁记忆检测记录管道表面磁场的分布情况,任一检测路径上或者检测路径之间的任一磁场方向(x、y或z)的磁场强度跳变剧烈和/或磁场梯度K最大值的区域,可作为磁信号异常分布位置予以关注。进一步计算不均匀程度的磁指数 m_i 、 m_j 与合成磁指数 m_i^f 、 m_j^f ,在1.05~3.0或更大范围内变化,尤其对于大于2.0的磁信号异常区域,可标志为损伤区予以重点关注。如需确定损伤等级情况,则需进行后续的损伤等级评估。

7.3.4 损伤等级评估

7.3.4.1 获得损伤位置的磁信号后,通过公式(13)评估损伤位置的损伤程度。

$$G = \sum_{i=x,y,z} \sqrt{\sum_{j=x,y,z} (\Delta H_{i,j} / \Delta l_i)^2}$$
 (13)

式中:
 G ——损伤程度大小的度量值;
 $i、j$ ——x、y、z方向;
 ΔH_{ij} —— i 方向排列的传感器之间磁矢量 j 分量的差值;
 Δl_i —— i 方向排列的传感器之间的距离。

7.3.4.2 埋地管道宜通过开挖来取样。取样完成后,结合管道信息、现场检测记录等,利用检测分析软件再分析初步分析结果,确定被检管道除取样点外其他部位的损伤等级。
对于含有损伤的管道,通过公式(14)根据损伤等级指标确定管道损伤等级。

$$F = e^{-AG}$$
 (14)

式中:
 F ——等级指标
 A ——修正系数
 G ——损伤程度的度量值

7.3.4.3 管道损伤等级分为三个等级:Ⅰ级为高风险,Ⅱ级为中等风险,Ⅲ级为低风险,管道损伤等级及处理措施建议见表1。

表1 管道损伤等级划分及处理措施建议

损伤等级	F 值	安全状况	处理措施建议
Ⅰ	$0 < F \leq 0.2$	高风险	立即修复
Ⅱ	$0.2 < F \leq 0.6$	中风险	计划修复
Ⅲ	$0.6 < F \leq 1.0$	低风险	定期检测

8 检测记录和报告

8.1 记录

根据检测流程要求记录相关信息,并合规保存所有记录。金属磁记忆检测结果记录与报告格式见附录A。

8.2 报告

检测报告包括但不限于以下内容：

- a) 委托单位和检测单位的名称；
- b) 检测仪器名称和主要性能参数；
- c) 被检管道的信息；
- d) 执行与参考的标准；
- e) 检测方法的简单描述；
- f) 检测结果分析的简单描述；
- g) 取样点的损伤测量结果；
- h) 损伤等级评估用主要参数 G 、 A 、 F ；
- i) 被检管道损伤部位位置信息；
- j) 被检管道损伤部位对应等级；
- k) 被检管道损伤部位的处理措施建议；
- l) 检测结论；
- m) 检测人员和审核人签字；
- n) 检测日期。

