

金属磁记忆技术在磁性构件无损检测中的应用探析

贺琳

(东北石油大学, 黑龙江 大庆 163319)

摘要: 金属磁记忆技术作为一种新兴的无损检测技术, 其在磁性构件检测中的应用, 能够对磁性构件内部的微观缺陷、早期失效与损伤等进行准确诊断, 是现阶段磁性构件无损检测中最为有效的一种方法。基于此, 文章在介绍金属磁记忆检测技术的原理、特点的基础上, 对该检测技术在磁性构件无损检测中的具体应用展开积极探索。

关键词: 金属磁记忆技术; 磁性构件无损检测; 应用

金属磁记忆检测技术是一种绿色环保、行之有效的新兴无损检测技术, 检测原理为利用铁磁性技术材料的磁记忆效应来对金属构件的应力集中部位、应力集中程度展开无损检测。该技术在磁性构件检测中的应用, 为各类磁性构件缺陷、损伤以及构件使用寿命的诊断与预判提供了可靠依据, 从而最大程度地保障磁性构件的使用安全。该技术自诞生以来, 就受到了金属检测领域的高度关注, 并得以迅速普及。对此, 本文基于金属磁记忆效应机理, 对金属磁记忆技术在磁性构件中应用过程中的关键性问题展开以下探索。

一、金属磁记忆检测技术的原理、特点

(一) 金属磁记忆检测技术原理

磁性构件受载后, 会在其应力集中区逐渐积聚应力能。基于能量最小原理, 为了使得磁性构件中的总自由能能够保持稳定状态, 在磁机械效应下, 构件内部的磁畴必然会出现畴壁的位移与重新取向, 且这种重新取向是完全不可逆的, 从而通过增加磁弹性能, 来抵消所增加的应力能, 进而使得铁磁构件内部产生超高的磁场强度, 这种强度要远远超过地磁场强度。此外, 由于磁性构件内部存在的内耗效应, 包括位错内耗、粘弹性内耗等, 因此在磁性构件的动态载荷消除后, 其在加载过程中形成的应力集中区以及磁畴组织的重新定向排列则会被保留下来。其中重新定向排列的磁畴组织会在应力集中区, 形成与缺陷漏磁场类似的分布形式, 具体分布形式如图 1 所示。

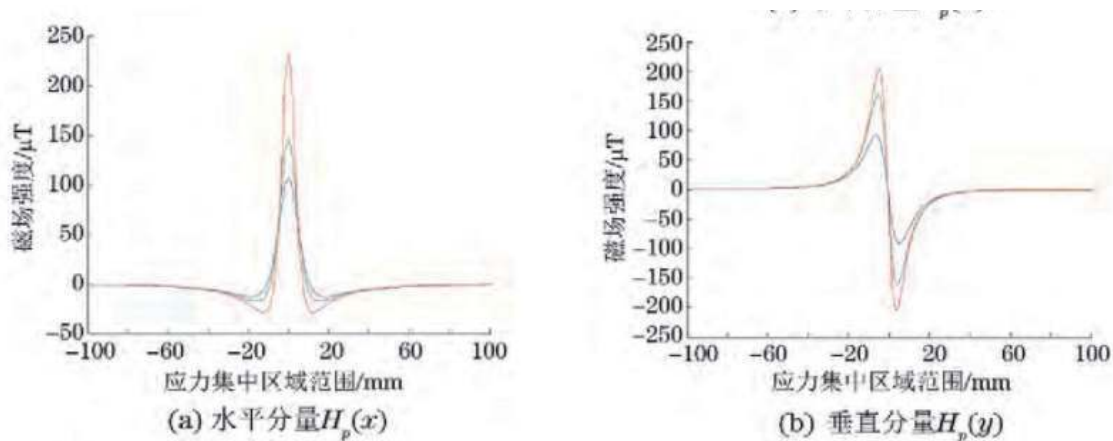


图 1 受载铁磁构件应力集中部位表面的漏磁场分布

(二) 金属磁记忆检测技术的特点

金属磁记忆检测技术能够对正在使用中的磁性构件的应力集中部位进行准确定位, 评价磁性构件的应力状态与应力程度, 从而能够在第一时间进行更换或强化处理构件可能存在早起缺陷或损伤的部位。此外, 将金属磁记忆检测技术应用于在役设备或构件疲劳实验中, 能够科学评价构件应力集中部位, 为对构件进行疲劳分析、疲劳定寿以及构件设计的优化、改进提供准确的数据以及。与其他无损检测方法相比, 金属磁记忆无损检测技术的应用优势主要包括以下几点: 首先, 利用该技术对在役磁性构件进行早期诊断, 能够对其的早期损坏、使用安全性做出科学、准确诊断; 其次, 利用该技术能够实时在线检测在役设备或构件。再次, 利用金属磁记忆检测技术进行早期检测, 不仅无需对构件表面进行预处理, 且检测探头无需直接接触构件表面, 最远检测距离可

达到 150mm; 最后, 磁记忆检测方式的灵敏度更高, 且可通过重复检测, 提高检测结果的准确性。而且相较于漏检测技术, 磁检测技术的应用, 不需要专门的磁化装置, 检测设备体积小、重量轻、检测速度快, 更适用于现场作业。

二、金属磁记忆检测技术在磁性构件无损检测中的具体应用——以埋地管道环焊缝检测为例

(一) 被检管道概况

本次检测对象为一条外输型的埋地天然气输送管道, 被检测管道长度为 5.22Km, 埋深为 0.1m~9.2m, 管道规格为 $\phi 508\text{mm} \times 9\text{mm}$, 管道运行压力为 4.87MPa~4.92MPa, 管道材质为 L360 螺旋环焊缝钢管。被检测管道全程共有 3 次穿越高速公路, 2 次穿越河流。在使用过程中, 管道焊缝在焊接作业时存在的缺陷, 会随着管线承受外加载荷时间的累积, 逐渐形成裂纹, 甚至管道

失去作用。该管道自投入使用以来，并未接受过任何非接触式磁力检测。

(二) 磁力检测结果

本次采用磁记忆检测仪对埋地管道进行全线检测，在检测过程中，根据仪器显示的磁场变化情况，利用GPS坐标定位磁场异常位置，检测结果显示该管线全程有1处严重的焊缝缺陷，需要进行及时处理。表1、图2表示焊缝缺陷管道的分布位置与F值。

表1 焊缝缺陷分布位置和F值大小

管段编号	管段长度 /m	F 值	磁异常等级
NO.1	7.58	0.18	IV
NO.2	8.91	0.62	II
NO.3	9.11	0.82	I
NO.4	6.56	0.78	I
NO.5	8.79	0.92	I
NO.6	7.50	0.86	I
NO.7	8.77	0.75	I

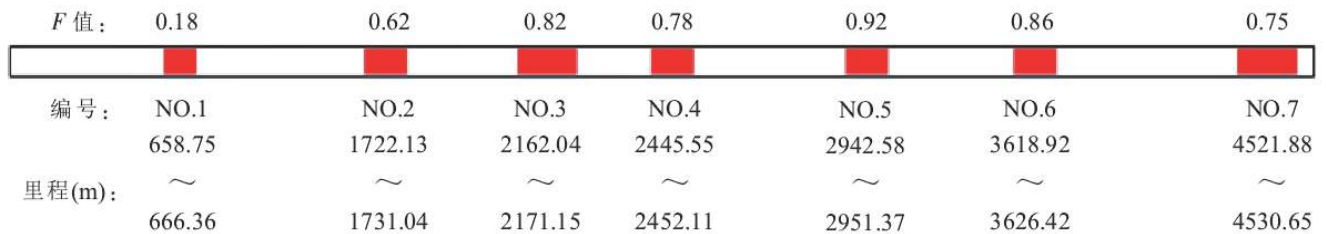


图2 含焊缝缺陷管段和F值分布

(三) 开挖验证点概况

在利用磁记忆检测仪对埋地管道进行检测时，根据检测过程中管道磁场梯度的变化，能够对焊缝部分缺陷进行准确判定。根据检测仪显示结果，挖掘磁信号变化剧烈的管段，以验证管道焊缝处是否存在缺陷，以判断检测结果与管道挖掘后判定的接缝缺陷级别是不是吻合。

开挖为检测结果显示焊缝严重缺陷的1号管段，焊缝位置距

离开挖点2.06米，焊缝埋深为1.2米，管道开挖长度、宽度、深度分别为3.1米、1.8米、1.9米。开挖后发现该管段外形并没有明显的变形或凹坑，整体状况较为良好，防腐层、保温层形态完好。

(四) 金属磁记忆检测结果及分析

利用金属磁记忆检测技术分别沿管段轴向和焊缝环向对该管段进行检测，具体检测方式如图3。

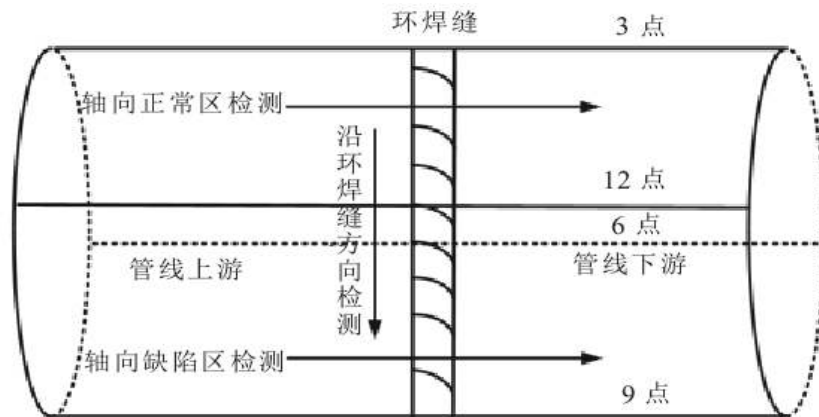


图3 1号管段的金属磁记忆检测方法示意图

首先，利用金属磁记忆检测仪对该管线进行轴向检测，检测位置分别为时钟3点方向、6点方向、9点方向以及12点方向。检测结果显示，在6点方向时，磁信号波动变化最为明显，因此，根据6点方向的检测结果来判断此管段的焊缝位置及其焊缝缺陷位置，图4为详细检测结果。由图4可知，在轴向检测过程中，距离1号管段开挖点2.06米的位置，6点钟方向的磁信号波动最为强烈，其中，Hp-2、Hp-8两通道的磁信号特征明显大于其他点位。具体表现在以下几点：磁场法向分量超过零点，而且磁场强度变化梯度出现峰值，所以磁信号峰值明显增大，其梯度曲线与横坐

标围成的面积同样达到峰值。此外，在1号管段内形成的李萨如图曲线也连续、多次出现封闭的缺陷环，特别是在距离1号管段起点2.06米处的周围，封闭缺陷环达到最大。由此，我们可以判定应力集中区位于距离起点2.06米处，进而得出结论：此处管线可能存在缺陷。通过对1号管线进行挖掘以及开挖点的观察，2.06米处切好为管道换焊接位置，此处的磁场波动也最为强烈，强度变化梯度要明显超过焊缝完好的管段。因此，我们可以初步判定1号管段的焊缝存在缺陷。

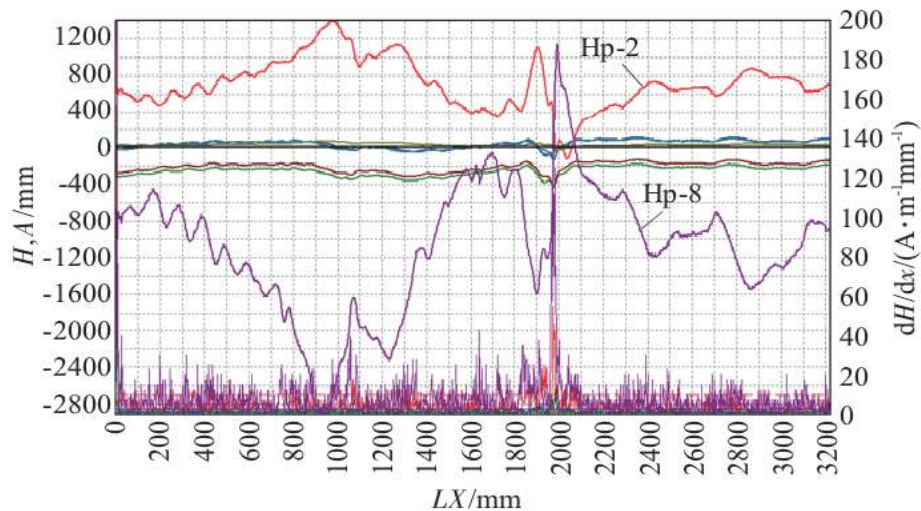


图4 1号管段的6点钟方位的轴向磁记忆检测曲线图

其次,利用金属磁记忆检测仪 360° 环向检测1号管段焊缝出,所得到的检测结果如图6所示。因此焊缝内部组织本身存在一定的不均匀性,再加上焊缝处的应力集中本身就较为强烈,因此,在管线焊缝部位,检测磁信号的切向分量、法向分量均会发生相应的波动变化。如图5所示的1号管段焊缝环向磁记忆检测曲线,在Hp-1—Hp-7的所有通道中, Hp-1的磁信号波动幅度最为强烈,

其次为Hp-2,磁信号在1200~2300的范围内进行剧烈波动,而且Hp-1和Hp-2两个通道的磁场变化梯度也最大,磁信号峰峰值明显增大;磁场的切向分量与法向分量分别用奇数通道、偶数通道来标号,根据图6可见,在环焊缝处,磁场的切向分量、法向分量均出现峰值,且峰值连续过零点。据此,我们能够进一步确定1号管段的焊缝部位存在缺陷。

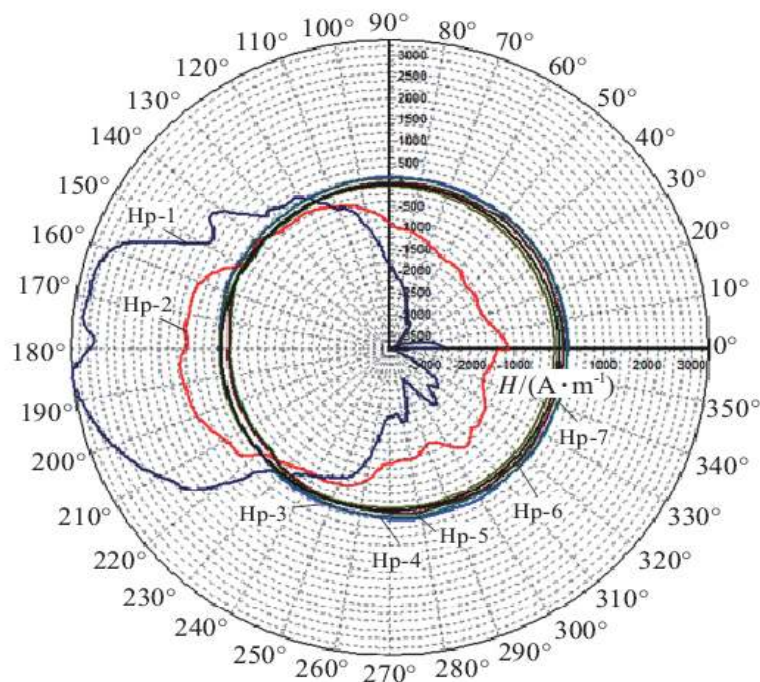


图5 1号管段焊缝环向磁记忆检测曲线图

(五) X射线探伤检测结果及分析

在对焊缝缺陷位置进行编号后,利用X射线机检测焊缝处的四块底片,并将其命名为1#片、2#片、3#片、4#片,具体检测情况见图6。通过分析焊缝底片图像的黑度以及变化规律,以此对最终确定焊缝缺陷的性质。根据图6可知,底片图像黑度整体偏高,虽然与焊缝内表面的融合线整体吻合,但是两侧的黑度值

断续分布、连续过渡,且图像黑度在焊缝内表面的融合线极其周围达到最高值。所以,我们可以据此判断1号管段的焊缝缺陷类型为内咬边。

根据《石油天然气钢制管道无损检测》检测,通过分析底片图像中焊缝的外观、尺寸以及信噪比、灰度值、分辨率、灵敏度,能够判定1号管段的焊缝缺陷级别为IV级,即不合格焊缝。根据

此案例可知，金属磁记忆检测技术在磁性构件检测中的应用，具有高度可行性与可靠性，值得广泛应用。

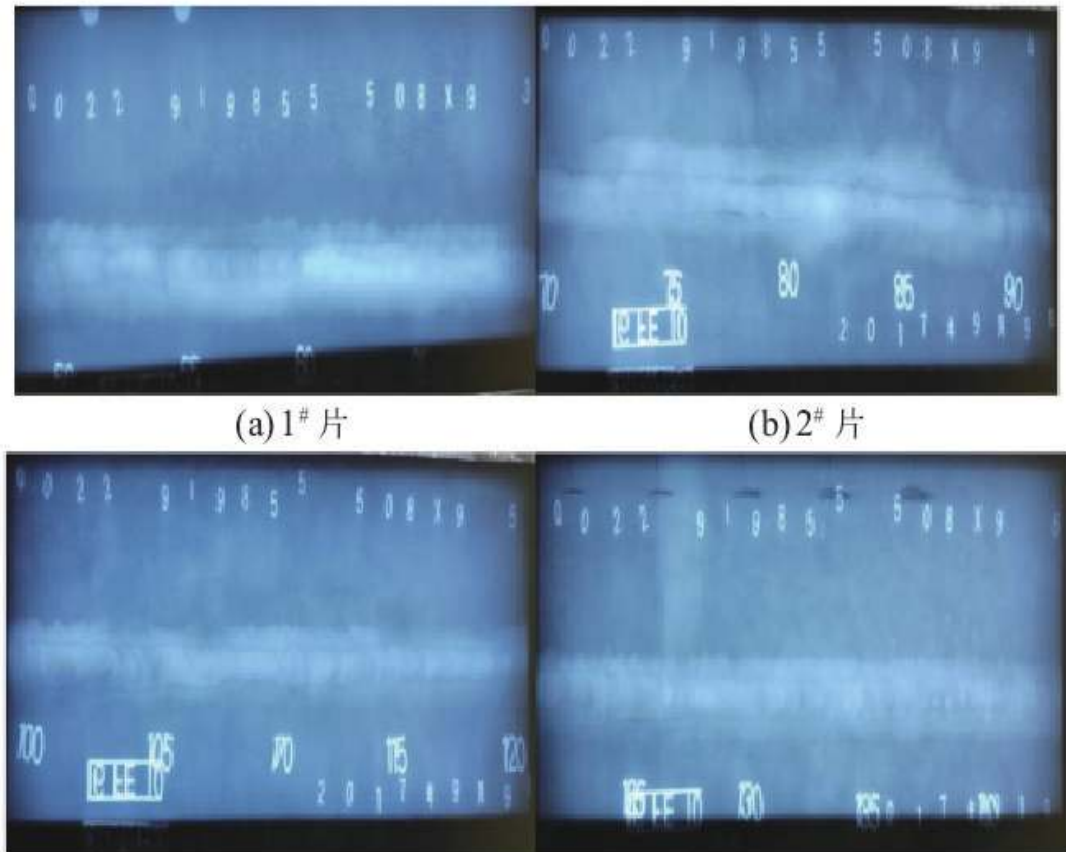


图6 1号管段X射线检测结果图

表2 1号管段焊缝X射线检测结果

底片编号	缺欠位置/mm	缺欠类型	缺欠长度/mm	焊缝缺陷等级
1#片	450~750	内咬边	300	IV级
2#片	750~950	内咬边	200	IV级
3#片	950~1200	内咬边	250	IV级
4#片	1200~1300	内咬边	100	IV级

参考文献：

[1] 苏三庆, 刘馨为, 王威, 左付亮, 邓瑞泽, 秦彦龙. 金属磁记忆检测技术研究新进展与关键问题[J]. 工程科学学报, 2020, 42(12): 1557-1572.
 [2] 王威, 易术春, 苏三庆, 马小平, 杨熠奕. 金属磁记忆无损检测的研究现状和关键问题[J]. 中国公路学报, 2019, 32(09): 1-21.
 [3] 钱正春, 黄海鸿, 韩刚, 熊斌, 费志洋, 赵伦武. 面向再

制造的金属磁记忆检测技术研究综述及工程应用案例[J]. 机械工程学报, 2018, 54(17): 235-245.
 [4] 苏三庆, 路秀琪, 王威, 董邴宁, 马小平, 叶毅. 基于金属磁记忆检测技术的波纹斜腹板钢箱梁试验研究[J]. 西安建筑科技大学学报(自然科学版), 2018, 50(04): 463-470.
 [5] 马惠香, 周建庭, 赵瑞强, 辛景舟, 李志刚. 基于金属磁记忆技术的钢筋应力无损检测试验[J]. 江苏大学学报(自然科学版), 2018, 39(03): 349-354.