

漏磁检测探头的选择及其检测信号特性

康宜华¹, 李久政¹, 孙燕华¹, 卢强²

(1. 华中科技大学机械学院, 武汉 430074; 2. 中国石油塔里木油田公司, 乌鲁木齐 841000)

摘要:给出了漏磁检测探头和标准缺陷的分类。详细分析了点式、线式检测探头对点状、线状和体状标准缺陷检测时的信号特征和优缺点, 最后提出了漏磁检测探头设计原则, 即缺陷的深度检测采用点式检测探头、缺陷的截面积缺失检测选择线式探头、缺陷的长度检测用点检探头阵或点线组合式探头、斜向裂纹仅能采用点检探头阵检测。

关键词:漏磁检测; 点检探头; 线检探头; 裂纹

中图分类号: TG115.28

文献标识码: A

文章编号: 1000-6656(2008)03-0159-04

Analysis of the Characters of Standard Magnetic Flux Leakage Signal and the Selection of Inspecting Probes

KANG Yi-Hua¹, LI Jiu-Zheng¹, SUN Yan-Hua¹, LU Qiang²

(1. Mechanical Science and Engineering School of Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China;
2. China Petroleum and the Tarim Oil Field Company, Wulumuqi 841000, China)

Abstract: Standard defects and magnetic flux leakage inspecting probes were classified in this paper, and the probes were studied, focusing on the signal characters and their merits and drawbacks of different types, such as the spot and linear, based on their applications on the hole defects, the linear and the volume ones, respectively. The design principle with specimen-objective of magnetic flux leakage inspecting probes was provided in the end. Spot-probe was suitable for inspection of the defects' depth, linear-probe to defects' cross-section, spot-array or spot-linear combination type to defects' length information. As to the notch oblique to the magnetization direction, spot-array was the only applicable type.

Keywords: Magnetic flux leakage testing; Spot-probe; Linear-probe; Notch

随着我国引进先进的漏磁检测设备数量的增多和国产漏磁设备的不断开发应用, 作为损耗件的漏磁检测探头使用数量剧增, 而进口的价格太昂贵, 因此很有必要进行国产化。同时, 随着应用的不断深入和探伤要求的逐步提高, 对不同形式的漏磁检测探头的检测特性也需要进一步研究, 以提高设备的实际检测能力。为此, 笔者根据长期的研究结果和对大量国外探头分析研究, 对漏磁检测探头进行分类, 结合标准缺陷的分类, 分析了不同类型检测探头的特性, 总结出面向检测要求的选择和设计漏磁检

测探头的方法。

1 漏磁检测探头和标准缺陷的分类

根据漏磁无损检测原理^[1], 在磁化铁磁性构件至饱和后, 检测探头的设计最为关键。最具代表性的有霍尔元件和感应线圈两种器件, 尤其是集成霍尔元件和光刻平面线圈。为了获得较高的磁场测量空间分辨力和相对宽广的扫描范围, 检测探头在结构上有多种形式, 在此将其分成两大类。

1.1 检测探头分类

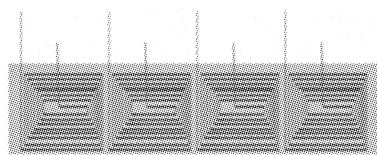
1.1.1 点检探头

对某一点上或微小区域内的漏磁场进行测量, 采用独立的测点进行, 每个测点对应于一个独立的信号通道的探头简称点检探头(图 1a)。很明显, 点

收稿日期: 2006-09-28

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50675083)

作者简介: 康宜华(1965—), 男, 教授, 博士生导师, 系主任, 研究方向为数字化无损检测、机械电子工程和仪器仪表等。



(a) 点检探头



(b) 线检探头

图1 检测探头形式

检探头中每个点能够扫描的有效范围很小,但空间分辨能力高,如单个霍尔元件的敏感面积只有 $0.2\text{ mm} \times 0.2\text{ mm}$ 。点检用检测线圈也可做到 $\phi 1\text{ mm}$ 内。

1.1.2 线检探头

对一条线上的漏磁场综合测量的探头简称为线检探头(图1b)。例如,用感应线圈检测时,将线圈做成条状,则它感应的是条状空间范围内的漏磁通的变化;用霍尔元件检测时,采用线阵排列,将多个元件检测信号用加法器叠加后输出单个通道信号,则该信号反映的是霍尔元件线阵长度内的磁感应强度的平均值。

在漏磁检测中,上述两种形式是最基本的形式,由此可以组合成多种形式的探头,例如平面内的阵列探头和多个平面上的立体阵列探头。

1.2 标准缺陷的分类

在实施漏磁检测时,对检测方法和设备的考核常采用标准缺陷,自然缺陷可以表达成它们的不同组合形式^[2]。为便于分析和精确评估,将标准缺陷分成下列三种:

(1) 点状 缺陷的面积小,集中在一点或小圈内,如标准缺陷里的通孔,自然缺陷里的蚀坑、斑点、气孔等,它们形成的漏磁场是一个集中的点团状场,作用范围小。

(2) 线状 缺陷的宽、长比很小,形成一条线,如标准缺陷里的矩形刻槽^[2],自然缺陷里的裂纹等,它们产生的漏磁场是线条的带状场。

(3) 体状 缺陷的长、宽、深尺寸均较大,形成坑或窝,如标准缺陷中的大盲孔,自然缺陷里的片状腐蚀等,它们产生的漏磁场的范围广泛。

2 漏磁检测探头的信号特性分析

在漏磁检测中,特别要强调空间和方向的概念。

这是因为漏磁场是空间场,且具有方向性;漏磁检测信号是时间域的,且没有相位信息;漏磁检测探头不仅感受的漏磁场分量有方向,而且检测探头的扫描路径也有方向,不同方向均对检测信号以及它的特征产生影响。

另一方面,应该特别注意漏磁场检测的量,在这里,磁感应强度和磁通量存在着根本的不同。霍尔元件和检测线圈两种器件的应用也有着根本的不同。霍尔元件可以测量空间某点上的磁感应强度,而检测线圈则不能;检测线圈感应的是空间一定范围内磁通量的变化程度,而霍尔元件不能测量磁通量,最多能够测量空间一定范围内磁感应强度的平均值。

更应强调的是,漏磁场的绝对量测量和相对量测量在定量无损检测里特别重要,但往往被应用者混淆和忽视!试验表明,在一定条件下,裂纹的深度与其产生的漏磁感应强度呈线性关系,裂纹越深其漏磁感应强度越大。若采用霍尔元件去测量漏磁感应强度的绝对量,则可以根据信号的幅度评价裂纹的深度;但如采用检测线圈去测量漏磁通量的变化,就不能评价裂纹的深度。更直接地讲,如果采用霍尔元件测得某裂纹的漏磁检测信号是另一个的2倍,我们可以确认后一个裂纹是前一个的2倍深;但若检测线圈测得的信号满足上述关系,我们就得不出上述结论,因为,产生漏磁通量变化的,除了磁感应强度外,还有它的变化率和扫描的速度等不确定的因素。因此,在国内进口的很多漏磁探缺陷设备(几乎都采用检测线圈式的探头)中,我们仅能根据标准缺陷的标定信号值去评定同量级的自然缺陷,即相对测量,而任何插值和外推估计均不合适。

下面笔者逐一分析两种基本探头对不同类型缺陷的检测信号特性。

2.1 点检探头的信号特性

点检探头测量的是空间某点上的漏磁感应强度或磁通量的变化。空间相对位置的微小变化均有可能引起检测信号幅度的波动。点状缺陷的漏磁场分布是尖峰状的,当点检探头正对峰顶时,信号幅度最大,偏离时幅度将急剧下降。因此,用这类探头去检测点状缺陷将会产生不稳定的信号,导致误判。设备标定时,也很难将灵敏度调节到一致。

点检探头检测线状缺陷时,很容易扫描到线状缺陷产生的“山脉”状漏磁场的某一个纵断面,检测信号幅度将正比于线状缺陷的深度。当线状缺陷大于一定长度时,检测信号的一致性,设备标定或检

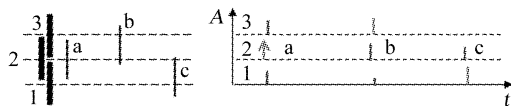
测的信号一致性也好。

2.2 线检探头的信号特性

线检探头测量的是探头线长范围内的平均磁感应强度、磁通量或者磁通量的变化。与点检探头相比,线检探头对缺陷的敏感性不但与深度有关,而且与长度有关,最终与缺陷缺失的横断面面积成比例。这类探头不能获得与缺陷深度有关的信息,因为长而浅与短而深的线型缺陷在检测信号幅度上有可能是一样的。

由于线检探头线长远大于点缺陷的长度,在检测路径上,缺陷相对于探头位置变化时,检测信号幅度不会变化,因而一致性较好。

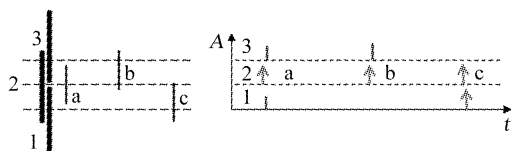
线检探头对线状缺陷检测时,信号错综复杂,探头与缺陷长度之间的相互变化均会带来信号的改变,如图 2a 使用有效长度为 25 mm 的线检探头检测 25 mm 长的刻槽。探头正对刻槽时,获得最大的信号幅值;当探头与刻槽错开位置时,信号幅值将随着探头与缺陷交叉重叠程度减小而减弱,此种状态对检测是不利的,不论是设备标定还是探缺陷应用均难获得一致的检测信号。图中左边的 1,2,3 为线检探头,中间的 a,b,c 为不同位置的线状缺陷,右边的 1,2,3 为不同探头的检测信号幅度。为了解决探头检测信号幅度不一致问题,有如下两种方案:



(a) 不合适的线检探头



(b) 短的线检探头



(c) 长的线检探头

图 2 线检探头的信号特征

(1) 减小线检探头的有效长度,让它小于线状缺陷长度的一半以下,同时将相邻检测探头按 50% 重叠布置(图 2b)。可以看出,不论缺陷从哪个路径通过探头组,均可在某一探头中得到一个最大的信

号幅度,在其它探头中得到较小幅度的信号。

此时,虽然测量的是磁通量,但是由于线状缺陷长度远大于探头长度,检测探头测量的是漏磁场“山脉”中某段的磁通量,如果线状缺陷深度一致,它可以直接反映出深度信息。将线检探头的长度再缩小,其特例就是点检探头了。因此,采用标准缺陷进行设备标定时,任何状态均可得到一致的检测信号。在探伤中也可真实反映大于探头 2 倍长度以上的缺陷的深度信息。

(2) 增长线检探头的有效长度,使它超过线状缺陷长度的 2 倍以上,同时将相邻的检测探头按 50% 重叠布置(如图 2c)。这样,以任何路径扫描缺陷时,均可获得一个或多个最大的检测信号。

此种检测方法测量的是线状缺陷的磁通量或平均磁感应强度,因而,它反映不了线状缺陷的深度信息。当缺陷的长度减小时,逐步转变成线检探头对点状缺陷的检测。

3 面向检测对象的探头设计和选用

在漏磁检测中,检测要求与探头设计密切相关,所以,应该根据探伤要求和对象,设计和选择合适的探头,以达到最佳的探伤效果,下面提出几种探头设计和选用原则。

3.1 缺陷的深度检测宜选择点检探头

点检探头反映的是局部的磁感应强度或其变化。当裂纹较长时,点检相当于对无限长槽的探测,因而测点的信号幅度与缺陷深度密切相关。

但是,当线状缺陷越来越短时,上述条件不能成立,测量的误差也就越来越大;作为特例,对点状缺陷的深度探测几乎不可能,因为它已近似于磁通量的检测。在漏磁探伤的各国标准中,一般均以通孔作为标定试样上的缺陷,这样,大小孔的深度一致,孔径的大小反映出缺失截面积的线性变化,因而,漏磁通量也将线性变化。对于盲孔,当孔深与孔径均为变量时,通过仅跟孔深与孔径乘积成比例关系的信号幅度去反演或推算深度是不可能的。这也是仅采用漏磁方法进行探伤的不足。

对于短小或点状缺陷,测量其深度时,首先必须探测缺陷的长度,然后再去推断深度。这样,仅采用漏磁检测方法已无能为力了,可采用涡流或交流漏磁检测方法进行辅助检测,因为它们仅对缺陷的表层或近表层敏感,信号幅度仅与缺陷的长度有关。

点检探头检测时,为增加扫描宽度,防止漏检,

需要的独立探头通道数非常多,因而硬件系统复杂。

3.2 缺陷的缺失截面积检测宜选择线检探头

线检探头的信号幅度与缺陷缺失的截面积成比例,因而有较好的测量精度。

3.3 缺陷的长度检测宜用点检探头阵或点线组合式探头

点检探头对缺陷深度敏感,当将它们组成探头阵时,缺陷长度覆盖的通道数量可以反映其长度信息;另一方面,线检探头大于缺陷的长度时,感应的是深度和长度的共同信息。因此在其感应范围内(正中间)并列布置一个或多个点检探头感受深度信息时,裂纹的长度就可以计算出来。

从信号处理角度来看,点线组合式探头需要的通道数量较少,可以同时获得深度、长度、缺失截面积等信息。

3.4 斜向裂纹检测宜采用点检探头阵

当探头扫描路径垂直于缺陷的走向时,检测信号最大;一旦缺陷的走向偏斜时,检测信号很快减小,同时信号特性也发生变化。此时,线检探头的检测信号特征变化很大,点检探头的信号幅度波动却很小。

在漏磁检测中,磁化场的方向与扫描的方向一致,当缺陷的走向偏斜时也表明其与磁化场方向也发生了偏离,进而缺陷的漏磁场也发生了改变^[3]。因此,斜向缺陷的检测与评估,需要感受出裂纹的走向,并且根据走向修正漏磁场信号幅度,再进行深度判别,最终获得深度信息。由于斜向缺陷走向与磁化场方向非正交,等深度的缺陷产生的漏磁场强度

(上接第 156 页)

由实验可以看出,硝酸浓度为 0.3% 和 0.5% 时 5A03 的腐蚀速率相近且最小,硝酸浓度为 1.0% 时 5A03 腐蚀速率明显增大,硝酸浓度为 5.0% 时 5A03 腐蚀速率要远远大于前三个浓度下的腐蚀速率。这与上文对不同浓度硝酸下 5A03 腐蚀产生的声发射信号撞击数的分析一致。

4 结论

(1) 5A03 铝合金腐蚀声发射信号数量随腐蚀程度的加剧而增多,信号撞击数的多少能够反映合

也有所减弱,不进行增强补偿将会造成漏检。

4 结论

漏磁检测的探伤能力与探头结构密切相关,从目前应用情况看,该方法对内外部腐蚀坑、内外部纵横向裂纹均有较好的探伤精度,同时,对斜向裂纹具有一定的探伤能力。但是,漏磁检测方法对微小开裂的裂纹,如初期的疲劳裂纹、热处理的应力纹、轧制时的微机械裂纹和折叠不是十分敏感,由于这些裂纹的开口均 $< 0.05 \text{ mm}$,向外泄漏磁场量相对较少,因此,有必要辅以涡流等探伤方法。

我国进口的漏磁探伤设备以基于检测线圈的线检探头为主,这种配置的信号通道数量相对较少,探靴的有效覆盖范围大。对缺陷的深度评定需要一定的条件,对斜向伤的检测几乎不可能。

总的来讲,要求线检探头去探测线形缺陷的深度信息和点检探头去评定点状缺陷的长度信息均是不现实的;高精度的探伤需配合数量众多的独立测量通道和信号处理系统,因此,应根据探伤目标去综合和权衡。

参考文献:

- [1] 杨叔子,康宜华. 钢丝绳断丝定量检测原理与技术[M]. 北京:国防工业出版社,1995.
- [2] GB/T 12606—1999 钢管漏磁探伤方法[S].
- [3] ASTM E570—1997 (Reapproved 2004) Standard practice for flux leakage examination of ferromagnetic steel tubular products[S].

金不同的腐蚀损伤程度。

(2) 不同浓度硝酸中 5A03 铝合金腐蚀声发射信号的上升时间、持续时间、振铃计数和能量等特征参数的分布具有较大差异,可通过 90% 的分布区间加以区分;持续时间与上升时间、持续时间与能量的关联分析也反映出较明显的规律,可作为现场声发射诊断的初步依据。

参考文献:

- [1] 陈翠梅,霍 臻. 压力容器声发射信号参数分析方法的探讨[J]. 工业安全与防尘,1999, (5): 4—6.

欢迎网上投稿 网址: www.mat-test.com