

远场涡流检测技术研究的发展及现状

刘焱 曲民兴

(盐城工学院电气系,盐城,224003)

摘要 综述了远场涡流检测技术领域的发展状况,着重介绍了新型、高效远场涡流探头的性能及发展趋势。

关键词 远场涡流 无损检测 穿壁技术

分类号 TN386

远场涡流(RFEC, Remote Field Eddy Current)检测技术是一种能对管材实行透壁检测的非常规电磁检测方法。目前,该技术虽局限于管道的无损检测,但由于其独到的检测性能,越来越受到人们的重视。远场涡流检测技术于50年代末首先应用于油井套管的检测,它将经过高倍数放大后的检测信号在井下调制一高频载波,然后在地面上把解调的检测信号与激励信号在相位上作比较,根据相位差来检测管壁的缺损。60年代初期美国壳牌石油公司研制出了第一个在役远场涡流检测系统,在管道工业中有时亦称为“智能猪”。80年代初有关核反应堆的压力管和城市煤气分配管等管道的远场涡流检测的研究成果也有所报道。

1 远场涡流检测的工作原理

远场涡流检测方法系采用内部探头对管材实行透壁检测,这是一种低频穿壁技术,它对管材的凹坑、裂纹、壁厚收缩及电阻率和磁导率的变化均能响应,并对管内、外部异常有相同的灵敏度。

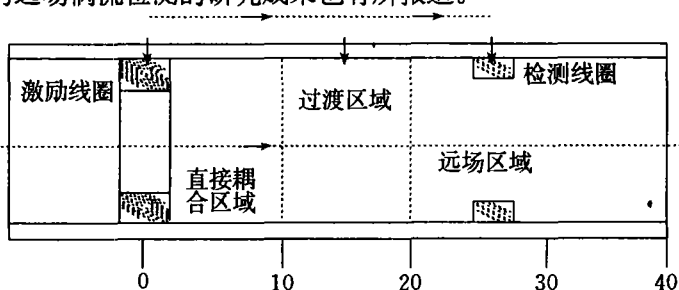


图1 远场涡流检测探头

远场涡流探头是该检测系统的主要部件,它采用与管道同轴放置的内部螺线管作为激励线圈,通以低频交流电,一组检测线圈排列安放在靠近管壁的内表面处。该检测线圈的安放位置与常规涡流装置中的不同,其典型结构(见图1)是安装在沿轴向距激励源2~3倍管内径处,需要测量的不是线圈阻抗,而是检测线圈的感应电压及其与激励电流之间的相位差。如果在一根无缺损的长铁管中改变激励线圈和检测线圈间轴向距离,并对应测出检测线圈感应电压及其相位,就可得到激励线圈周围电磁场分布的一些特征,我们把距激励线圈较近、信号幅值急剧下降的区域称为近场区或直接耦合区;信号幅值急剧下降后变化趋缓而相位发生较大

的跃变之后的区域称为远场区或间接耦合区。远场涡流探头中的检测线圈必须放在远场区,远场区一般距激励线圈 2 倍管内径以外。

根据有关理论和实验研究证实:其检测线圈的场由两个分量合成,其一称为直接耦合分量,产生于激励线圈,并一直保留在管道中,直接耦合场随着距激励源轴向距离的增加,按指数规律衰减。另一分量是远场分量,激励线圈产生的场部分在激励线圈附近穿透管壁扩散,在此过程中,因为涡流的作用,场相位发生移动、幅值衰减,然后,该能量在管外传播、衰减减慢。对铁磁管道,该能量有被管道引导而沿管外壁扩散的趋势。在远场区域外部,直接耦合场比内部大得多,管内场的主要部分由外部场通过管壁扩散回来。在这个过程中,场再次衰减并有相位移动。象常规涡流技术一样,裂纹以阻断涡流路径的方式产生信号,也有与常规技术不同处,管外的裂纹产生与管内裂纹相同的信号,这是因为它们与能量流的交互作用是相同的。

典型结构的远场涡流探头还存在着一些明显的问题,影响着它的发展和应用。一是探头长度太长,难以在弯管中通过,尽管可以采用机械分段和绞接,但仍难保证其既能通过,又能确保检测线圈位于远场区。二是检测信号幅值太低,通常为微伏或数十微伏数量级,在电子技术已充分发展的今天,信号的分辨和处理仍很难。

2 远场涡流检测技术的发展动态

远场涡流检测技术自 40 年代出现后的较长一段时期内,人们对远场涡流现象的研究主要依靠实验研究,其许多现象难以解释。70 年代末,场的数值计算迅速得到发展,并逐步发展成为一种研究手段,80 年代中期,将其引入对远场涡流现象的研究。Schmidt, T. R 1984 年撰文阐述了远场涡流现象的两个主要效应。我国学者孙雨施在美国期间与 Lord. W 教授一起成功地利用了有限元技术仿真研究了远场涡流现象,指出远场涡流现象是电磁扩散现象,其规律与常规涡流现象一样遵循着扩散方程,还指出远场涡流检测完全取决于管壁中 1% 甚至更小的磁通,他还成功地在低频电磁场中引入坡印亭向量,应用扩散能量流(DEF)概念来分析,阐明了远场涡流的机理,这些研究成果深受国内外学术界的重视。

随着远场涡流理论的逐步完善与不断发展,有限元和其它基于计算机的解析技术得到证实,远场技术用于管道(特别是铁磁管道)检测的优越性和可靠性正为人们广泛认识。远场涡流技术的研究在国外得到了许多机构的资助并投入了大量人力、物力和财力。一些先进的远场涡流检测系统已经出现在市场上,如 EAGLE 2000 SYSEM, FERROSCOPE SYSTEM 以及 ACSIS(Advanced Carbon Steel Inspection System)等。在这些系统中,或者同时提供了信号的幅值和相位条纹曲线,或者以阻抗图来显示幅值和相位关系。单通道或多通道的检测结果可存入计算机并实时打印输出。如 ACSIS 系统不但提供了远场数据同相和正交分量,而且能利用常规涡流分析软件对缺陷进行分析。在日本,一些主要的供气分配公司联合研制了用于供气钢管检测的远场样机系统,它可将多通道的相位信号以条纹曲线打印输出。

在缺陷信号的识别上,和常规涡流检测仪一样,这些远场检测系统主要根据相位分析来判别缺损信号。目前,利用傅立叶描述符表示出缺陷复平面轨迹的特征向量,再以模式识别进行缺陷分类的方法已经得到了研究。有的研究则是应用与传统涡流检测技术相类似的平衡技术,以突出缺陷存在时产生的畸变信号来表征对应的小缺陷信号。另外采用多频技术来增强对缺陷的检测和识别能力以排除额外信号的影响的方法也受到重视。

除了在检测信号的分析、处理上进行的大量研究工作外,探头的进一步改进和完善也引起了人们的高度重视,在这方面,人们就克服典型结构探头的缺陷、缩短探头长度、提高检测信号幅值等新型探头的设计方案进行了研究。根据文献报道,目前已提出了一些解决方法,如在激励线圈和检测线圈间设置屏蔽盘、磁饱和技术的应用、平衡技术的应用等等。这其中比较成功的是南京航空航天大学对远场涡流探头的构成进行的计算机仿真和实验研究工作,他们在对远场涡流检测机理深入研究的基础上,提出了“控制能量流扩散方向”的构想,引入磁路结构并同时采用磁电组合屏蔽,有效地抑制了能量流在管内的传输,增强了经管外的间接耦合的传输。他们于90年代初推出的新型、高效探头样机把远场区从距激励线圈2倍多管内径处移近到约0.6倍管内径处,即大大缩短了远场涡流探头的长度,检测信号幅度也较延用至今的典型结构探头提高了近一个数量级,为其工程应用在理论和实践上都创造了良好的基础。

作为一门崭新的边缘技术,远场涡流检测的发展方兴未艾。可以预料,随着远场涡流理论的逐步完善和相应的信号调理技术、信号处理技术、探头设计的不断完善,能满足各种实际需要的、高精度、高速度、智能化的远场涡流检测技术系统一定会早日问世,并在国民经济和国防建设中发挥出巨大的经济效益和社会效益。

参 考 文 献

- 1 曲民兴,司家屯,周效宇. 远场涡流探头的研究动向. 南京航空学院学报(远场涡流检测技术专辑). 1990. 1~7
- 2 Yu-Shi Sun, M. X. Qu. Improvement in Remote Field Eddy Current Probe Structure. Material Evaluation. 1992, 150(5): 600~604
- 3 Schmidt, T. R. The Remote Field Eddy Current Inspection Technique. Material Evaluation, 1984, 142(2): 225~270
- 4 刘焱. 新型远场涡流探头的设计研究, 南京航空航天大学研究生硕士学位论文. 1997. 3
- 5 欧阳天鹤, 韩伟. 远场涡流检测系统综述. 南京航空学院学报(远场涡流检测技术专辑). 1990, 9~13

The Trends of The Study of The Remote Field Eddy Current Testing Technique

Liu Yan Qu Minxing

(Department of Electric Engineering of Yancheng
institute of technology, Yancheng, 224003, PRC)

Abstract This paper discusses the trends of remote Field Eddy Current Testing technique and introduces the performance of the new and high effect remote Field Eddy Current probe and its improvement.

Keywords remote Field Eddy Current; nondestructive testing; the technique of trapassing wall