

油井套管应力检测方法

张永生, 黄松岭, 赵 伟

(清华大学 电机系电力系统国家重点实验室, 北京 100084)

摘 要:综述了几种通过检测套管的应力来评价套管的运行状况的方法。分析了超声法、磁记忆法、巴克豪森效应法和磁声发射法的优缺点。分析表明,磁记忆法技术比较成熟、操作简单、灵敏度高,最易于实际应用。

关键词:油井套管;应力检测;超声波检法;磁测法

中图分类号: TG115.28; TE973.6

文献标识码: A

文章编号: 1000-6656(2008)08-0517-03

Anticipation of Stress Testing Methods of Oil Casing Pipes

ZHANG Yong-Sheng, HUANG Song-Ling, ZHAO Wei

(State Key Lab of Power Systems, Department of Electrical Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: Some stress testing methods that may be used in oil casings were summarized. The advantages and disadvantages of ultrasonic, magnetic memory, magneto-Barkhausen noise (MBN) and magnetic acoustic emission (MAE) methods were analyzed. It is indicated that magnetic memory method is much mature, easy to operate and it has high sensitivity, so it is the most utility one.

Keywords: Oil casing pipe; Stress testing; Ultrasonic testing; Magnetic monitoring method

近年来,我国油井套管损坏速度呈上升趋势。套管损坏严重影响油田的正常运行,增大了油田运营成本。如果能准确地检测套管的应力分布状况,可在一定程度上预测套管的损坏,为其治理和修复提供准确的依据。

目前,应力检测的方法主要有构件钻孔法、光弹性法、红外热图法、X射线衍射法、激光干涉法、核磁共振法、超声法、磁记忆法、巴克豪森效应法和磁声发射法等。但是,由于油井套管工作环境复杂,使得很多方法不适合在役套管的应力检测。如构件钻孔法对材料有一定损伤,现已很少使用。X射线衍射法和激光干涉法只能检测材料表面应力^[1];光弹性法和红外热图法一般只适用于实验室研究,现场使用有很多困难;核磁共振法精度高,但设备昂贵,所需条件复杂。因此实际目前可以采用的套管应力检

测方法主要有超声法、磁记忆法、巴克豪森效应法和磁声发射法等。

1 超声法

1.1 检测原理

当超声波在材料内部传播时,应力会引起声横波的声双折射效应,测定该声双折射所导致的声速变化,就能推算出物体内部的应力。横波声速随应力变化的关系式为^[2]:

$$\frac{\Delta v}{v_{s0}} = \frac{\delta}{8\mu^2} (4\mu + n) \quad (1)$$

式中 Δv ——横波声速的增量;

v_{s0} ——无应力时套管中的横波声速;

δ ——套管应力;

μ ——各向同性材料中的二阶 Lamé 常数;

n ——各向同性材料中的 Murnaghan 三阶弹性常数。

由式(1)可见,横波声速的增量 Δv 与应力 δ 呈线性关系,所以测量声速的增量就可以检测材料承受的应力。

收稿日期: 2007-12-04

基金项目: 国家高技术发展研究计划(863)资助项目(2007AA06Z223)

作者简介: 张永生(1981—),男,硕士研究生,主要研究方向为电磁超声检测。

1.2 检测特点

超声法能测定构件的表面应力和内部应力,测量的应力是沿超声波传播路径的平均应力值。它有一定的探测深度,适用的材料也较多,方法简单、快速、准确。当前比较成熟的超声波应力测量应用有螺栓轴向应力测量、铁路钢轨应力的测量等。另外在航空、核工业等领域中超声法也得到了应用。

理论上讲,固体材料中的应力都可由声速反映出来,但实际情况十分复杂。由于超声波的声弹性效应是一种弱效应,应力引起的声速变化非常小,要测出这个变化,需要高灵敏度和高精度的测量技术和仪器设备,而且材料的各向异性以及组织结构差别对测量结果也有一定的影响。此外固体中的声速不仅与固体中的应力,还与温度有关,温度的影响体现在热膨胀系数、密度、弹性常数的变化等。由于温度和应力对声速的影响是在同一数量级上,这势必会影响应力测量精度,目前解决的方法是建立声速与温度和应力的相互关系,以此计算应力^[3]。

1.3 需解决的问题

(1) 测量结果受材料组织结构的干扰较大,要准确测量应力,需要分离出组织结构的影响,这就需要对接管组织结构特性进行深入研究。

(2) 由于应力测量的精度取决于声速测量的灵敏度,而应力引起的声速变化很小,这就给精确测量应力带来困难。目前自动声速测量仪的灵敏度可达 $10^{-7} \sim 10^{-8}$ s,相应的应力分辨率约几个 MPa,当然这里的应力分辨率与声波在试件中的声程有关,声程越长分辨率越高^[3,4]。

目前,超声法套管应力检测技术仍处于研究阶段,尚无专用的超声波应力检测仪。它所涉及到的超声学、材料科学、力学、信号的检测及处理等理论及相关实验设备,都有待于进一步的研究。但是,随着声学测量技术的进步和测量声速的精度提高,使得超声法有很大的发展潜力。

2 磁记忆法

2.1 检测原理

铁磁性金属在使用过程中,由于受载荷和地磁场共同作用,在应力和变形集中区域会发生具有磁致伸缩性质的磁畴组织定向和不可逆的重新取向,从而引起磁导率的变化。这种磁状态的不可逆变化在工作载荷消除后不仅会保留,还与最大作用应力有关,即所谓的磁记忆效应^[5]。所以可以通过检测

磁记忆信号对套管的应力分布状况进行半定量评价^[6],这就是磁记忆法。

2.2 检测特点

磁记忆法主要是检测应力变化较为剧烈部位的微观信息^[7],因此磁记忆法可以检测出套管的微观缺陷,适用于早期诊断,这是传统的无损检测方法不易办到的。

由于磁记忆法获取的是金属部件被地磁场磁化后处于平衡状态的相对静止信息,不需要对被测表面进行任何磁化处理,所以它可以比其它方法更易实现检测仪器的小型化,并实现点磁测量,扫查精度可达到 $1 \mu\text{m}$ ^[8]。

磁记忆检测技术无需专门的磁化装置;不需要对被检金属表面进行清理或其它预处理;提离效应影响小;设备轻便、操作简单、灵敏度高、重复性与可靠性好,这些特点非常适合套管的在役应力检测^[9]。

2.3 需解决的问题

目前,磁记忆信号与部件应力和变形集中区的对应关系还没有定量表述,没有形成较成熟的技术标准^[10]。虽然国内已经研制出了磁记忆检测系统,但在役检测时,由于套管深埋的地下环境恶劣,还需要解决信号衰减、噪声滤除、确定检测信号与套管应力的对应关系等问题^[11]。

3 巴克豪森效应法

3.1 检测原理

根据铁磁学理论,铁磁材料具有磁畴结构,其磁化方向为易磁化轴方向。按照能量最小原理,磁畴的稳定结构总是趋向能量最小的状态。在外磁场作用下,铁磁材料磁化时,磁畴壁位移或磁畴的转动使磁畴壁两边趋向外磁场的磁畴扩大,反向的磁畴缩小。由于磁畴壁位移需不断克服材料内部的不均匀应力、杂质等因素造成的势垒,因而它是非连续的、跳跃式的不可逆运动,表现为磁滞曲线最陡区为阶梯式的跳跃性变化。德国物理学家 Barkhausen 在 1919 年发现,若将一线圈置于材料表面,材料在交变磁场下磁化,磁畴壁的不可逆跳跃将在线圈内感应一系列电压脉冲信号,放大后可听到沙沙之声,称为磁噪声(简称 MBN)^[12,13]。MBN 与材料的微观结构及材料所承受的应力有关,所以检测磁噪声可以用来测量应力。

3.2 检测特点

巴克豪森效应法不仅可以测到单轴向应力,而

且能测较复杂的应力,并显示出它的方向,这是由于测量的磁噪声与应力大小、施加的应力方向及磁场方向有密切的关系。当应力平行于磁场方向时,拉应力越大,噪声幅度越大;而压应力越大,噪声幅度越小。当应力垂直于磁场方向时反之^[14]。研究表明,巴克豪森效应在塑性变形区有轻微的磁滞效应,但这并不影响检测^[15]。但是由于材料内不同点残余应力对 MBN 的敏感程度不同,使得测量应力的精度受材料本身特性影响很大^[16]。

经过几十年的发展,巴克豪森效应法在基础理论、传感器设计和信号处理等方面有了很大发展,并且开始有了实际应用。

4 磁声发射法

4.1 检测原理

在外磁场作用下,铁磁材料在产生巴克豪森效应的同时,由于磁致伸缩作用,在铁磁性材料内部激起弹性波向周围传播。该弹性波脉冲类似于机械声发射,故称为磁力声发射(简称 MAE)。MAE 首先是美国科学家 Lord 于 1975 年在镍的磁化过程中发现的。

MAE 受许多具体条件的影响,例如材料的化学成分、微观结构、外加磁场的大小、交变磁场的频率、应力水平等^[17]。Higgin, Carpenter, Kusanagi 等人相继做了许多试验,证实材料在应力作用下产生的磁声发射信号强度比无应力时产生的磁声发射信号强度要低一些^[18]。因为,磁畴壁的运动将会受到外加应力阻碍,因而磁致伸缩的应变也会受到影响,使磁声发射信号的大小发生相应的变化,这就是用磁声发射方法可以检测应力的原理。

4.2 检测特点

应用磁声发射技术测定铁磁材料的应力,具有测量层深度大、设备简单、使用方便的优点。应力对磁声发射的影响,总的趋势是随着应力的增加 MAE 信号减小。由于磁畴壁结构随着应力的变化并不均匀,随着应力的增加,磁声发射信号表现为下降时快时慢,甚至出现平台^[19],因此在高应力作用下磁声发射法灵敏度下降。MAE 的测量精度受磁化场强度限制,要得到很高的磁化场强度,其磁化器不能做得太小,使得其对两个相邻的小区域应力变化就不可能分辨出来^[20]。由于 MAE 测定应力的影响因素多,情况比较复杂,目前还不能作为一种普遍的测试手段,有待进一步研究。

由于 MBN 的测量精度与磁化区域大小无关,只与接收线圈的面积有关。线圈可以制作得很小,测量精度相应可以提高,所以 MBN 法可以弥补 MAE 法的不足。将两种方法结合使用,可以形成一种新的应力检测法,具有较大的研究价值^[21]。

5 结语

由于油井套管运行在地下,工作环境比较复杂,使得在线检测套管应力比较困难。超声法、磁记忆法、巴克豪森效应法和磁声发射法虽各有缺点,但都是套管应力在线检测中比较有前途的方法。超声法原理简单,但还需要准确分离出材料特性、温度等因素对声速的影响。磁记忆法相对比较成熟,也非常适合于套管应力的在线检测,但还需要解决应力量化等问题。MBN 和 MAE 两种方法实际应用研究还较少,把两种方法结合使用将更具发展前景。

参考文献:

- [1] 刘青昕. 油田套管状况测井及套管应力检测方法研究[D]. 北京:中国地质大学,2006,4:11—12.
- [2] 刘颖,徐炳涛,郭玉民,等. 套管应力的检测方法[J]. 大庆石油学院学报,2004,28(2):63—64.
- [3] 王军,韩庆邦. 固体金属中的超声波应力测量[J]. 重庆教育学院学报,2005,18(6):23—25.
- [4] 朱伟,彭大暑,杨立斌,等. 超声波法测定残余应力的原理及其应用[J]. 计测技术,2001,(6):25—26.
- [5] Doubov anatoli A. Diagnostics of metal items and equipment by means of metal magnetic memory[C]. Proc of ChSNDT 7th Conference on NDT and international Research Symposium. shantou:1999.
- [6] 刘青昕,刘兴斌,陈茂龙,等. 磁记忆法检测井下金属套管应力的实验研究[J]. 大庆石油地质与开发,2006,25(2):100—102.
- [7] 仲维畅. 铁磁性物体在地磁场中的自发“运动磁化”——金属磁记忆检测与诊断技术原理之六[C]. 全国电磁(涡流)检测技术研讨会论文集. 2004:36—39.
- [8] 黄松岭,李路明,汪来富,等. 用金属磁记忆方法检测应力分布[J]. 无损检测 2002,24(5):212—214.
- [9] 张军,张新. 金属磁记忆预测井下套管故障系统的研究[J]. 现代制造工程,2006,(3):198—201.
- [10] 张宏芹,温明钊,郭立峰. 金属磁记忆检测技术及初步应用[J]. 电力安全技术,2005,3(7):11—13.
- [11] 马振国. 用磁记忆检测技术预测井下套管故障[J]. 石油矿场机械,2004,33(6):99—101.
- [12] 穆向荣. 巴克豪森效应在无损检测中的应用[J]. 无损检测,1989,11(8):229—232. (下转第 549 页)

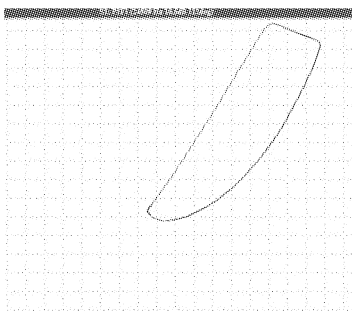


图6 换热管壁厚突变阻抗图

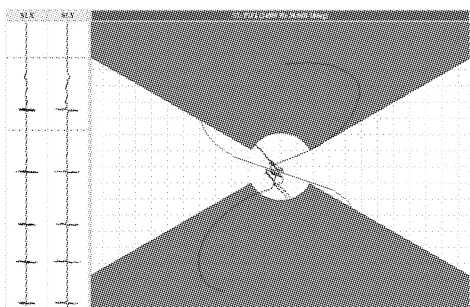


图7 幅值相位报警

超标缺陷监控区域,根据对比样管结果确定报警的相位与幅值。图7上除了支撑板信号之外,尚有一形状复杂的信号,其相位接近 90° ,一开始将其判断为通孔,拔管解剖后未发现缺陷,该信号幅值较小,怀疑是由材料自身不均匀引起的涡流信号,如果设定合适的幅度门槛,完全可以排除该缺陷。

2.4 检出外壁缺陷的有效性

表2显示外壁20%平底孔缺陷信号幅值为7 dB,40%平底孔缺陷信号幅值为31 dB,20%大范

围渐变减薄缺陷信号幅值为50 dB。而实际检测中噪声、材质不均等均会引起涡流阻抗图变化,这些信号幅值通常超过7 dB,淹没深达20%的外壁小孔信号,造成无法检测。但是对于外壁大范围减薄及减薄 $>40\%$ 的小孔均能可靠检出。

3 涡流检测效益分析

针对该涡流检测工程,进行了粗略的检测速度、探头损耗估算,以为日后涡流检测时进行人员及探头配置提供依据。其中检测速度约80根/h,最快100根/h;探头损耗约1000根/个(或探头行程16000 m/个)。国产耐磨探头每个人民币930元(如用进口仪器、进口探头价格将大大增加),检测人员3名,进行常规涡流检测。如果要对铁磁性材料制成的换热管进行检测,则需采用远场涡流检测。由于远场涡流检测频率低,导致采样速率低,检测速度应 $\leq 5\sim 20$ 根/h,因此对铁磁性材料制作的换热管进行检测时应以抽查为主,否则将会延长检验检修时间。

常规涡流检测速度快,可用于石化、电力等行业中非铁磁性换热管的在役检测。在检测中应注意自然缺陷与人工缺陷的不同,由于信号叠加等影响,自然缺陷信号显示比实际大10%左右。在涡流检测中合理利用幅相报警功能可有助于识别超标缺陷。

参考文献:

- [1] 王海波,宋树波,邵泽波. 涡流检测中探头运动速度对检测信号的影响分析[J]. 吉林化工学院学报,2004,21(3):83—85.

(上接第519页)

- [13] 陈娟,祁欣. 巴克豪森检测传感器的设计及分析[J]. 哈尔滨电工学院学报,1994,17(1):35—38.
- [14] 王存龙,陈新力. 巴克豪森效应在无损检测领域的应用[J]. 兵器材料科学与工程,1994,17(1):63—68.
- [15] Jagadish C, Clapham L, Atherton D L. The influence of stress on surface barkhausen noise generation in pipeline steels[J]. IEEE Transactions on Magnetics, 1989,25(5):3452—3454.
- [16] 祁欣,于石生,李波. 巴克豪森效应在材料检测中的应用和展望[J]. 材料科学与工艺,1994,2(2):107.
- [17] 侯炳麟,周建平. 磁声发射在钢轨性能无损检测中的应用研究[J]. 实验力学,1998,13(1):98—104.
- [18] 朱孝谦. 磁声发射[J]. 实验力学,1991,6(3):327.
- [19] 谷春瑞. 材料磁声发射技术研究[J]. 新技术新工艺,2000,(5):29—30.
- [20] 马咸尧,孙大千. 巴克豪森应力效应的研究[J]. 华中理工大学学报,1994,22(9):29—33.
- [21] 王威,苏三庆,王社良. 用磁声法 MAE 检测钢结构构件应力的机理和应用[J]. 西安建筑科技大学学报,2005,37(3):322—325.

欢迎网上投稿 网址: www.mat-test.com