

电磁超声导波技术在钢丝绳检测中的应用

于淑敏, 刘雪芳

(华电郑州机械设计研究院有限公司, 郑州 450015)

摘要: 由于钢丝绳本身结构以及使用环境的不同, 检测较困难。介绍了电磁超声导波检测技术及其原理, 通过试验对钢丝绳电磁超声导波检测技术进行了验证。利用超声波在钢丝绳中导波模式传播, 可快速提取钢丝绳中缺陷的超声信号, 克服电磁检测的盲区, 实现对钢丝绳的长距离、快速检测。

关键词: 钢丝绳; 电磁超声导波; 导波检测系统; 小波分析

中图分类号: TG 87 **文献标志码:** B **文章编号:** 1674-1951(2016)12-0009-03

0 引言

在役钢丝绳的损伤情况和承载能力, 与设备和人身安全紧密相关^[1]。断丝、磨损和锈蚀是钢丝绳强度减弱的主要影响因素。人工检查和磁性法检测是钢丝绳检测的常用方法, 其准确程度差、效率低^[2]。为了提高钢丝绳的检测效率, 快速提取表征缺陷的超声信号, 并且克服电磁检测的盲区, 以达到对钢丝绳长距离快速检测的目的, 研制出一套电磁超声导波(EMAT)检测系统。本文通过对不同规格的钢丝绳进行检测试验, 研究电磁超声导波检测技术在钢丝绳检测中的应用。

1 电磁超声导波检测技术

利用超声导波在钢丝绳中传播的导波模式, EMAT检测技术能快速地检测钢丝绳的断丝和腐蚀, 且能够100%覆盖被检测区域。

使用超声导波检测系统时, 将探头(铁钴合金磁铁+柔性线圈)安装到钢丝绳上, 通过激励产生的超声导波就可以沿着钢丝绳进行传播, 遇到断丝和腐蚀的部位就会产生反射信号, 以此来判断缺陷的位置和反射波幅度。

2 钢丝绳 EMAT 检测系统

钢丝绳材质是铁磁性的, 利用其自身的磁致伸缩效应可以直接激励和接收导波, 检测原理如图1所示。激励线圈、检测线圈和提供偏置磁场的磁化器组成了传感器, 结构如图2所示^[3]。用排线制作的2种线圈分别缠绕在被检钢丝绳上, 用于实现交变磁场和应力波之间的能量与信号转换。偏置磁场

可以采用电磁或永磁方式加载, 其方向沿轴线方向。偏置磁场的主要作用是提高磁能与声能的换能效率, 以及选择导波模态^[4]。进行检测时, 为了产生交变磁场, 先将大电流脉冲信号通入发射线圈; 由于磁致伸缩效应, 发射线圈附近的铁磁材料会受到交变应力作用, 这样会激励出超声波脉冲; 沿钢丝绳轴线传播的超声脉冲, 由于钢丝绳的表面影响, 会不断在钢丝绳内部发生反射、折射和模式转换, 最终稳定导波模态的形成正是由于超声波脉冲经过复杂的干涉和叠加的结果。若钢丝绳内部存在缺陷, 钢丝绳内部缺陷处将反射导波; 由于逆磁致伸缩效应, 反射回来的应力波使通过检测线圈的磁通量改变, 磁通量变化经过检测线圈的转换引起电动势变化; 反射回来的超声导波信号的时间和幅度可以通过测量检测线圈的感应电动势间接得到, 进而可以知道缺陷的大小和位置等信息^[5]。

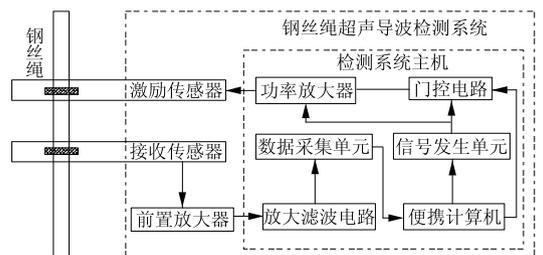


图1 直接激励法磁致伸缩导波检测原理

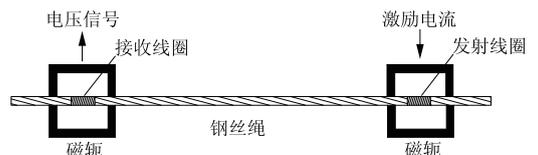


图2 传感器原理

3 检测技术条件

3.1 检测仪器

检测仪器应具有信号激励、数据采集、信号波形

显示、分析与存储的功能,且至少满足以下要求:
 (1)激励信号的频率、幅值、周期数、重复频率可调;
 (2)数据采集频率不低于激励信号最高频率的 10 倍,应与信号激励具有同步功能;(3)检测信号应能实时存储,以备后续处理和分析;(4)具有距离显示方式;(5)能够分析缺陷的位置,缺陷位置的最小分辨率应达到 10 mm。

3.2 传感器

每个传感器应给出被检钢丝绳材料和规格的适用范围。

3.3 试样

(1)校准试样。校准试样用于对检测设备进行灵敏度和各种功能的测试。校准试样选用直径为 20 mm,材料为 45 的圆钢,有 2%、4% 和 6% 截面损失率的横向环形切槽各 1 个,如图 3 所示。切槽的宽度为 0.5 ~ 2.0 mm,深度方向的公差为 ± 0.2 mm。

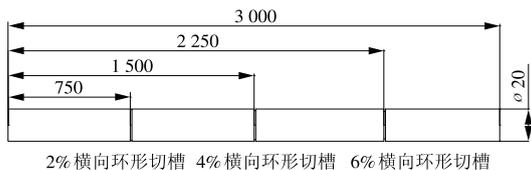


图 3 校准试样示意

(2)对比试样。对比试样用于对被检测钢丝绳缺陷截面损失率当量进行评定。对比试样应采用与被检测钢丝绳规格相同的材料制作,试样的长度不小于 5 m,2 个部位分别加工断丝,每处断丝的数量按截面损失率的 6% 进行计算,同一处断丝应紧密相邻,端部断丝位置距试样端部至少 0.5 m。

4 试验数据及结果分析

4.1 试验过程及结果

为研究超声导波在钢丝绳长距离、快速检测中的应用,使用钢丝绳电磁超声导波检测系统,通过试验对钢丝绳电磁超声导波检测技术进行讨论。试验从钢丝绳的参数(直径、股数、钢丝绳的单丝直径、端头距离缺陷的长度等)和电磁超声导波检测的参数(脉冲周期、发射频率、重复频率、发射接收探头间距等)方面进行研究,具体试验过程及结果如下。

4.1.1 直径 8 mm,单丝直径 1 mm,长度 5650 mm 单股钢丝绳

采用单端发射、单端接收的方法对钢丝绳进行检测,磁化方式是将铁钴带用胶水固定在钢丝绳上,测试时要对铁钴带上磁处理,测试时发射处又加了磁铁增加磁化效果。将发射线圈和接收线圈接好后接通电源,打开探伤软件,在 10 ~ 50 kHz 范围内进行发射频率的调节,得出发射频率为 30 kHz、脉冲周

期为 5 时波形处于最佳模态。

调节检测范围在 12 m 以上,将 A 和 B 阀门分别套在一次端头波和二次端头波上,在声速校准栏输入钢丝绳的长度 5650 mm, $v = 4536 \text{ m/s}$ 进行声速校准(发射探头 P20,接收探头 P20),如图 4 所示,图中:横坐标为范围,mm;纵坐标为幅值,%;下同。在钢丝绳距端头约 1580 mm 处锯 1.0 mm 切槽进行测试,波形如图 5 所示,由图 5 可以看出:端头波 A 闸门位置为 5650 mm,缺陷波 B 闸门显示位置为 4051 mm,理论计算缺陷位置应为 4070 mm,误差为 19 mm,与缺陷实际位置比较吻合。

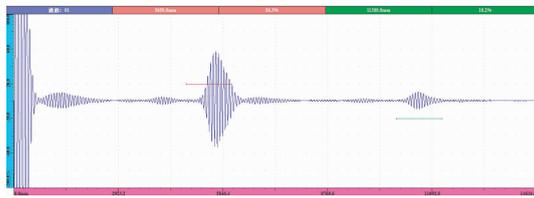


图 4 声速校准

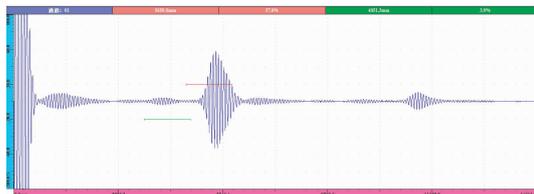


图 5 距端头 1580 mm 锯 1.0 mm 深缺陷波形

4.1.2 不同单丝直径、钢丝绳直径、发射接收探头间距、探头频率的试验结果

针对不同单丝直径、钢丝绳直径、发射/接收探头间距、探头频率,采用单端发射、单端接收的方法对钢丝绳进行检测,检测试验参数见表 1,在 10 ~ 120 kHz 范围内确定最佳发射频率及脉冲周期,进而得到波形最佳模态,试验结果如图 6 ~ 15 所示。



图 6 试验 1 结果

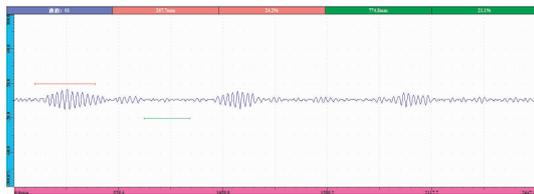


图 7 试验 2 结果

4.2 试验结果分析

(1)对于不同单丝直径和钢丝绳直径,调节发射频率和脉冲周期,在一定距离范围内可得到导波

表 1 钢丝绳电磁超声导波检测技术试验参数

试验序号	单丝直径/mm	钢丝绳直径/mm	发射、接收探头间距/m	发射频率范围/kHz	最佳发射频率/kHz	脉冲周期
1	0.5	10.0	0.9	10 ~ 120	80	5
2	0.6	9.5	1.0	10 ~ 120	80	5
3	0.7	16.0	1.0	10 ~ 120	80	5
4	0.8	14.5	1.0	10 ~ 120	80	5
5	0.8	14.5	1.5	10 ~ 120	80	5
6	0.8	14.5	2.0	10 ~ 120	80	5
7	1.0	21.5	1.0	10 ~ 120	70	5
8	1.3	24.0	1.1	10 ~ 120	60	5
9	1.3	24.0	1.4	10 ~ 120	60	5
10	1.3	24.0	1.6	10 ~ 120	60	5

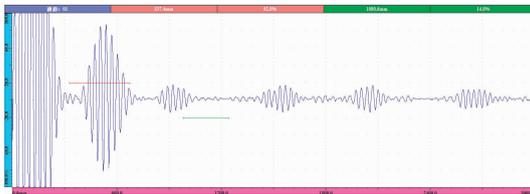


图 8 试验 3 结果

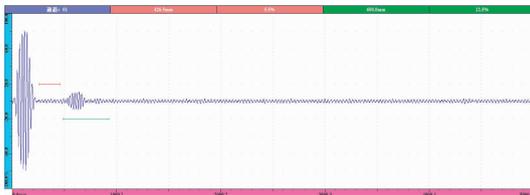


图 9 试验 4 结果

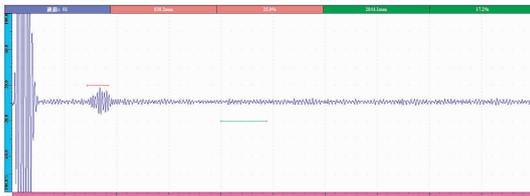


图 10 试验 5 结果

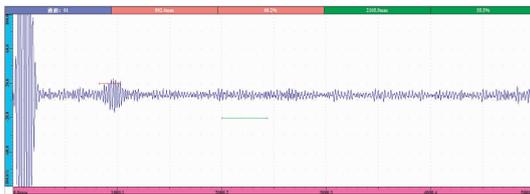


图 11 试验 6 结果



图 12 试验 7 结果

信号的最佳模式。

(2) 钢丝绳单丝直径越大,单股丝数越少,接收到的反射波高越高,检测效果越好。

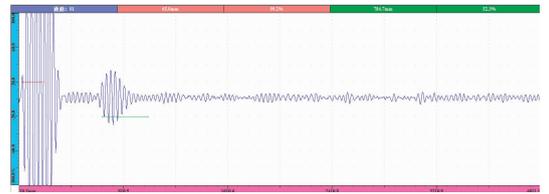


图 13 试验 8 结果

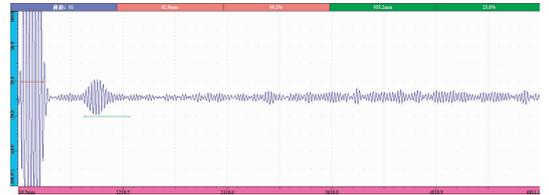


图 14 试验 9 结果

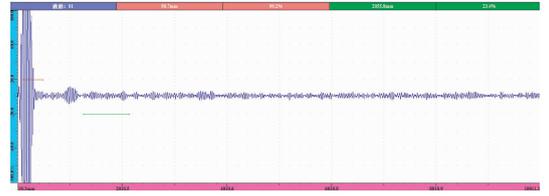


图 15 试验 10 结果

(3) 导波传播距离越大受钢丝绳结构影响越大。

5 结论

使用钢丝绳电磁超声导波检测系统,通过设置不同试验参数,对钢丝绳电磁超声导波检测得出以下结论:(1)可对一定长度的钢丝绳进行快速、高效的检测;(2)导波传播距离受钢丝绳结构影响很大;(3)单丝越粗,单股丝数越少,效果越好;单丝越细,单股丝数越多,效果越差。

参考文献:

- [1] 乔巨忠. 强力输送带无损探伤仪的研制[J]. 山西焦煤科技, 2005, 29(3): 32-33.
- [2] 曹印妮, 张东来, 徐殿国. 钢丝绳定量无损检测现状[J]. 无损检测, 2005, 27(2): 91-95, 106. (下转第 14 页)

表 2 一期工程电缆结算结果

项目	数量/km			造价/元			差额			
	概算	申报	结算	概算	申报	结算	数量差/km		价款差/元	
							结算 - 概算	结算 - 申报	结算 - 概算	结算 - 申报
中高压动力电缆	65	43	41	1 309 269	734 511	623 388	-24	-2	-685 881	-111 123
低压动力电缆	397	369	321	7 996 771	6 490 426	5 561 734	-76	-48	-2 435 037	-928 692
电气控制电缆	796	673	506	6 995 248	5 048 498	4 033 457	-290	-167	-2 961 791	-1 015 041
热控控制电缆	1 510	1 960	1 731	13 932 770	15 929 742	13 891 110	221	-229	-41 660	-2 038 632
合计	2 768	3 045	2 599	30 234 058	28 203 177	24 109 689	-169	-446	-6 124 369	-4 093 488

表 3 一期工程电缆桥架结算结果

项目	数量/t			造价/元			差额			
	概算	申报	结算	概算	申报	结算	数量差/t		价款差/元	
							结算 - 概算	结算 - 申报	结算 - 概算	结算 - 申报
钢制桥架	1 703	1 913	1 010	21 638 058	22 359 252	11 783 794	-693	-903	-9 854 264	-10 575 458
铝合金桥架	0	1 215	757	0	43 272 738	26 576 963	757	-458	26 576 963	-16 695 775
合计	1 703	3 128	1 767	21 638 058	65 631 990	38 360 757	64	-1 361	16 722 699	-27 271 233

明显的。

2.2.3 电缆桥架结算办法改进建议

一期工程中在施工基本完毕阶段才提出电缆桥架按照实际测重的方式结算,虽然最终各方都接受了结算结果,但因为安装完毕所造成的取证困难给各方谈判和取值工作带来了障碍,建议后续工程在桥架进场阶段就启动测重工作,双方做好记录,并在安装前对进场之后的桥架进行抽检复核,以各方签字确定的质量作为结算依据。

3 结束语

现阶段火电工程绝大多数采用了工程量清单招标模式,工程量计算的准确性就显得格外重要。本文提出的结算办法是本着从实际出发的角度,采用了一套合理、规范、灵活的工程量计量办法,为竣工图结算提供了很好的补充,既降低了工程造价,又避

免了审计风险。

参考文献:

[1] 建设工程工程量清单计价规范:GB 50500—2013[S].
 [2] 张博. 核电工程电缆托盘防火保护费用控制[J]. 中国核电,2016,9(2):178-181.
 [3] 王爱梅,张悦,郭晓玲. 发电厂电缆敷设优化方式探讨[J]. 山西电力,2013(2):70-72.

(本文责编:刘芳)

作者简介:

阎涛(1985—),男,山东嘉祥人,工程师,管理学硕士,从事火电工程概预算、技经管理工作(E-mail:179751514@qq.com)。

贺胜利(1969—),男,山西运城人,高级经济师,从事火电工程概预算、技经管理工作(E-mail:heshengli6@126.com)。

(上接第 11 页)

[3] 柯岩. 基于磁致伸缩导波的钢管无损检测实验研究[D]. 武汉:华中科技大学,2006.
 [4] 段鸿杰,林鸣,李文波. 基于磁致伸缩技术的吊杆检测应用研究[J]. 湖南交通科技,2014,40(1):104-106.
 [5] 钢丝绳电磁超声导波检测导则:QB/HDMI 001—2015[S].

(本文责编:白银雷)

作者简介:

于淑敏(1988—),女,河南开封人,助理工程师,硕士,从事无损检测方面的工作(E-mail:yusm@hdmdi.com)。

刘雪芳(1963—),女,河南许昌人,高级工程师(教授级),从事无损检测方面的工作(E-mail:liuxf@hdmdi.com)。