

铁磁性钢丝绳电磁检测校准和定量分析

贾社民¹, 贾利民², 沈功田³, 吴彦³

(1. 北京杰安泰无损检测技术有限公司, 北京 100083; 2. 北京华英通信技术开发中心, 北京 100843;
3. 中国特种设备检测研究院, 北京 100013)

Calibration and Quantitative Analysis for Electromagnetic Examination of Ferromagnetic Steel Wire Rope

JIA She-Min¹, JIA Li-Min², SHEN Gong-Tian³, WU Yan³

(1. Beijing Jantye Non Destructive Testing Technologies Co. Ltd., Beijing 100083, China;
2. Beijing Huaying Telecom Technical Developing Center, Beijing 100843, China;
3. China Special Equipment Inspection and Research College, Beijing 100013, China)

中图分类号: TG115.28

文献标识码: B

文章编号: 1000-6656(2008)01-0058-03

1 钢丝绳电磁无损检测现状

国内外早期的钢丝绳电磁检测仪主要采用漏磁检测原理, 尽管采用了各种分析和处理方法, 但定量分析的效果不很理想, 在现场应用有很大的局限性。

20 世纪 70 年代出现了以检测钢丝绳主磁通来判定金属截面积损失量的检测方法 (简称 LMA)^[1], 此方法从与钢丝绳强度直接相关的钢丝绳金属横截面积损失为出发点, 定量地反映钢丝绳金属截面积的损失情况, 并以此来对钢丝绳进行强度评估和验收^[2]。该方法的局限性在于, 对小断口的断丝以及断丝聚集的金属截面积损失很难定量分析, 并且不同仪器厂商其设备定量检测断口的长度不同, 同时定量检测的误差也不同。要想了解不同仪器定量检测的准确性和精度, 可以通过仪器校准和对钢丝绳对比试样检测的方法来解决。

2 LMA 校准方法

早期仪器是通过在钢丝绳上加丝或抽丝的方法建立比对基准, 通过移动钢丝绳或探头来检测校准仪器金属截面积损失 LMA。此方法校准精度受钢丝绳本身噪声影响较大, 此外操作也比较困难, 要克

服钢丝绳摆动、运动速度变化、缺陷宽度和深度等影响。而采用拔丝校准方法, 可消除钢丝绳噪声对校准的影响, 同时操作比较简单, 基本可消除拔丝摆动和拔丝速度对校准的影响。

拔丝校准方法主要是校准仪器本身 (磁场强度、传感器、电路、数/模转换和计算等) 的误差。但其受校准钢丝长度、拔丝速度和拔丝间隔时间以及钢丝在探头中不同位置等影响, 不同因素对检测结果的影响如表 1 所示。

表 1 可见, 拔丝速度、钢丝在探头中不同位置拔丝和不同拔丝间隔时间对拔丝检测结果的影响不大, 而不同钢丝长度拔丝对检测结果影响较大^[3], 需要采用修正方法进行补偿。若校准仪器采用相同长度的标定丝进行校准, 就可消除由于标定丝长度不同所带来的误差。

由以上试验可以确定, 采用拔丝检测方法可以满足对仪器 LMA 误差的检测校准要求。

3 LMA 拔丝校准方法

3.1 仪器误差分析

在上述影响仪器系统误差的因素中, 不同磁场强度使钢丝绳 (钢丝) 磁化的程度不同, 将影响仪器检测的线性度; 传感器和电路主要受灵敏度和温度影响, 对仪器检测产生随机误差和系统误差; 数/模转换和计算主要对仪器产生系统误差。由此可见,

收稿日期: 2007-04-28

作者简介: 贾社民 (1964—), 男, 高级工程师, 从事钢丝绳电磁无损检测设备的开发、生产、销售及技术咨询工作。

表1 不同影响因素对检测结果的影响

影响 参数	参数 变化量	LMA 检测结果/%		
		1	2	3
拔丝长度 /mm	300	16.392	16.323	16.462
	400	18.066	17.997	17.927
	500	19.043	18.973	19.113
	900	20.02	19.95	20.089
拔丝速度 /m·s ⁻¹	0.35	-4.022	-3.983	-4.131
	1	-4.022	-3.983	-4.131
	2	-4.022	-3.983	-4.131
	3	-4.022	-3.983	-4.131
钢丝距探头 中心位置 /mm	0	2.135	2.132	2.138
	5	2.138	2.135	2.138
	10	2.141	2.138	2.141
	15	2.148	2.141	2.145
	20	2.151	2.145	2.148
	25	2.154	2.151	2.151
	30	2.161	2.156	2.154
间隔 时间/s	0	19.813	19.810	19.824
	1	19.813	19.810	19.824
	5	19.763	19.760	19.793
	10	19.714	19.724	19.744
	15	19.689	19.694	19.723

仪器的误差主要是由线性误差和系统误差以及随机误差组成。为此,将 LMA 校准误差检测分为重复误差检测和线性误差检测,其中重复误差代表了系统误差和随机误差之和,即仪器误差=仪器重复误差+仪器线性误差。

3.2 拔丝试验校准误差分析

3.2.1 LMA 重复误差

检验时,将仪器探头安装到被测钢丝绳上,选取金属截面积不低于钢丝绳金属截面积 1% 的标准钢丝(建议使用相当于钢丝绳金属截面积 1%~5% 的标准钢丝),对较粗的钢丝绳也可使用多根标准钢丝组成一股标准钢丝,标准钢丝的长度应>350 mm,按步骤标定好仪器。将标准钢丝插入探头内,启动检测并拔出标准钢丝,拔丝速度在 0.3~3 m/s,拔丝时尽可能不产生摆动,等 1 s 后停止检测,记录仪器测量到的 LMA 值,再插入标准钢丝并将 LMA 清零后,重复上述过程。在 10 次 LMA 测量值中去掉最大值和最小值,计算出 LMA 的算术平均值,LMA 重复误差即为测量值与平均值的最大差值。

3.2.2 LMA 线性误差

检验时,将仪器探头安装到被测钢丝绳上,选取金属截面积相当于钢丝绳金属截面积 1%~2% 的标准钢丝 10 根,标准钢丝的长度应>350 mm,按照仪器标定步骤标定好仪器。将 10 根标准钢丝插回探头内,将仪器按自动采样检测步骤操作,每次拔一根丝,中间间隔约 1 s,拔丝速度在 0.3~3 m/s,拔丝尽可能不产生摆动,依次拔完 10 根丝,等 1 s 后停止检测。重复 3 次以上操作并将 LMA 值填入表 1,计算出三次的重复拔丝 LMA 平均值。由此值和拔丝根数拟合出线性回归方程:

$$y = ax + b \quad (1)$$

式中 y ——金属截面积(LMA)变化百分数;

x ——拔丝根数;

a, b ——拟合回归方程的常数。

求出式(1)中 a 和 b 值。将拔丝根数依次代入式(1),分别求出拔丝 LMA 估算值。将拔丝估算值与重复拔丝 LMA 平均值比较,其最大差值绝对值 $|\Delta y_{\max}|$ 即为 LMA 线性误差。

3.3 对比样绳 LMA 定量检测误差

要求在 LMA 量程内,对于断口宽度 ≥ 50 mm,金属截面积减少量 $\geq 1\%$ 的缺陷,LMA 检测结果应呈比例关系。

选择图 1 所示的钢丝绳缺陷定量检测样绳。样绳所做断丝均为外层丝,三个断口均为 50 mm,断口 1 金属截面积的减少量应大于或等于钢丝绳金属截面积的 1%~2%;断口 2 金属截面积的减少量是断口 1 的 2 倍;断口 3 金属截面积的减少量是断口 2 的 2 倍。样绳可编接成环形在试验装置上循环运行检测;也可两端固定将钢丝绳张紧,探头在钢丝绳上运行检测。将探头安装到检测样绳上,调整标定好的仪器。启动检测并转动钢丝绳环或移动探头,分别将运动速度调整到 0.3 和 3.5 m/s 进行检测,在最大的断口 3 处仪器检测到的 LMA 值与实际钢丝绳金属截面积减少值之间的最大差值,应满足 LMA 定量误差要求;在断口 1,2,3 处仪器检测到的 LMA 值呈比例关系。图 2 是样绳的检测结果。

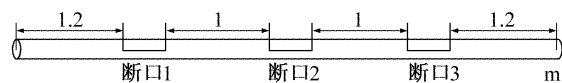


图1 钢丝绳缺陷定量检测样绳

4 定量分析

分析检测曲线要先从整体分析,即先找出钢丝

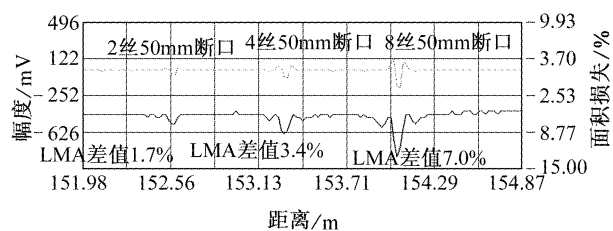
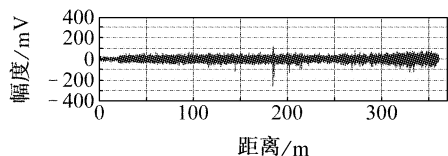


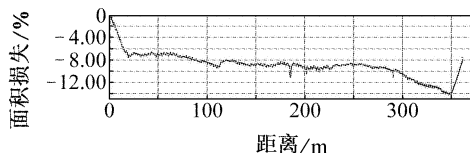
图2 钢丝绳样绳检测曲线

绳金属截面积减少最大的位置。断丝引起的金属截面积减少可通过计算断丝产生的金属截面积损失百分数得到。锈蚀、磨损等引起的金属截面积损失可按下述方法确定。

如图3和4中严重磨损和锈蚀信号曲线LMA百分比减少 $>10\%$,并且LMA的减少量与磨损和锈蚀程度呈正比关系;只是磨损情况下LMA信号

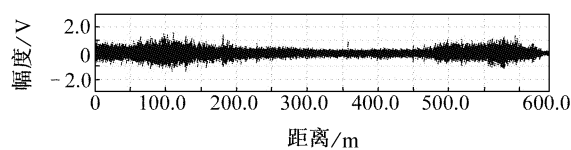


(a) LF 曲线

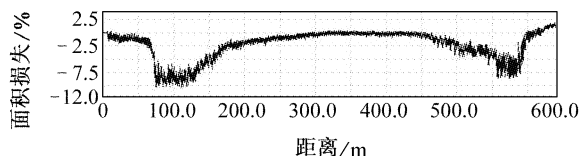


(b) LMA 曲线

图3 严重磨损的LF和LMA检测波形



(a) LF 曲线



(b) LMA 曲线

图4 严重锈蚀的LF和LMA检测波形

变化平滑,漏磁通量(LF)信号变化比较均衡,幅值变化大小与磨损程度关系不大,磨损处LF信号比正常处信号幅值高1~2倍、距离较长。锈蚀情况下LMA信号呈波动性减少,LF信号变化与磨损情况下接近,但幅值变化大小与锈蚀程度有关。

参考文献:

- [1] ASTM E1571—2001 Standard Practice for Electromagnetic Examination of Ferromagnetic Steel Wire Rope[S].
- [2] 贾社民. 关于钢丝绳电磁检测和强度评估的一些看法[J]. 无损检测, 2002, 22(12): 522—525.
- [3] Nicolaas T. van der Walt, Johannesburg. Method of and apparatus for magnetic saturation testing a wire rope for defects; United States, 4827215[P]1989—05—02.

(上接第44页)

(3) 通过对试样的微观组织分析,可知整个电解充氢过程中主要有A、B两种声发射源模式,分别对应腐蚀电解过程和表面FeS腐蚀层的开裂剥落过程。电解充氢开始后,首先出现的是A模式,经过48h后,出现了幅度、能量和持续时间等声发射参数比A模式参数范围大的B模式,随后是A、B模式交替出现。到试验后期,两种模式的界限难以区分。

参考文献:

- [1] 池田昭夫,寺崎富久长. 低强度钢在湿硫化氢环境中的

氢诱发开裂[J]. 化工炼油机械, 1981, (2): 59—72.

- [2] 卢志明,童水光,方德明,等. 16MnR钢在含H₂S介质中慢拉伸应力腐蚀试验研究[J]. 化工机械, 2001, 28(3): 138—140.
- [3] Yuyama S, Kishi T, Hisamatsu Y. Corrosion fatigue characteristics of 304-stainless steel and AE analysis during the process monitoring of cracking and AE source[J]. Journal of Japan Inst Metals, 1982, 46(1): 86—93.
- [4] S Y Tsai, H C Shih. Correlation between acoustic emission signals and hydrogen permeation in high strength low alloy steel cracking in wet H₂S[J]. Journal of Electrochemical Society, 1998, 145(6): 1968.