

# 某河口闸门钢丝绳检测的案例和思考

许建芹<sup>1</sup>, 黄 凯<sup>1</sup>, 董信华<sup>2</sup>, 林 波<sup>2</sup>

(1. 江苏省特种设备安全监督检验研究院, 南京 210003;  
2. 上海且华虚拟仪器技术有限公司, 上海 200032)

**摘要:**某河口闸门应用钢丝绳进行启闭,传统的采用人工目视和触摸的方法可靠性差且危险。介绍了一种采用基于虚拟仪器的电磁检测技术对钢丝绳进行检测的案例,如仪器的检测原理、检测路径的设计、检测结果以及判断标准。实例证实了钢丝绳电磁虚拟检测技术的可行性。最后,基于目前日益增长的钢丝绳检测需求,以及并不广泛的检测现状,建议应该重视钢丝绳检测技术的推广及应用。

**关键词:**钢丝绳; 电磁检测; 虚拟仪器技术

中图分类号: TG115.28 文献标志码: A 文章编号: 1000-6656(2011)10-0053-03

## Case Study for the Inspection of Steel Wire Rope of a River Gate and the Thinking Caused by it

XU Jian-Qin<sup>1</sup>, HUANG Kai<sup>1</sup>, DONG Xin-Hua<sup>2</sup>, LIN Bo<sup>2</sup>

(1. Jiangsu Province Special Equipment Safety Supervision Inspection Institute, Nanjing 210003, China;  
2. Shanghai Qiehua Virtual Instrument Technology Co Ltd, Shanghai 200032, China)

**Abstract:** The open and close of the gate of a river were finished by steel wire ropes, whose testing was carried out by the traditional artificial methods of visual and touching methods, resulting in poor reliability and dangerous consequence. Virtual instrument-based equipment with electromagnetic technology was used for the wire rope testing. The testing principle, path design, testing results and accepting standards were introduced. The testing case proved the feasibility of the virtual electromagnetic wire rope testing technique. Finally, based on the current growing wire rope testing needs, as well as the not so satisfied testing status, a suggestion was proposed that more attention and more application promotion should be paid to wire rope testing technology.

**Keywords:** Wire rope; Electromagnetic testing; Virtual instrument technology

## 1 检测缘由

秦淮河入江口外的三汊河河口闸是南京的重要景观之一,它有效地调节和控制枯水期水位,显著改善河道景观和水质,形成了人与自然和谐的绿色体系。

河口闸工程于2005年建成,荣获中国水利优质工程大禹奖,由南京市水利局三汊河河口闸管理处承担日常运行和设备维护,见图1。

主管两个水镜大闸门升降的四台盘香式启闭机

收稿日期: 2011-05-30

作者简介: 许建芹(1966—),女,高级工程师,主任,主要研究方向是特种设备检测检验的新技术和新方法。



图 1 三汊河河口闸

的核心主机是德国 SEW 公司于 2004 年制造的,额定功率 22 kW, 额定启闭力 1 500 kN, 扬程 19.5 m, 启闭速度只有 0.75 m/min。

如图 2 所示,每台启闭机上有 6 根  $\phi$  48 mm,



图 2 盘香式启闭机

48ZAB6×36SW+IWR-1870ZS 线接触钢丝绳。为了保证闸门的平衡启闭,每组六根钢丝绳中的每根钢丝绳应承受同等张力,所以钢丝绳在安装前必须由特制的工装设备进行预拉伸。

四台启闭机共计有 24 根钢丝绳。每根长度仅 20 余米的钢丝绳长期露天承载,特别是尾端的钢丝绳一年中有很多时间是直接浸泡在河水中的。多年来,这些钢丝绳主要是由人工检测,即由人工将钢丝绳表面涂得厚厚的二硫化钼清洗干净,然后用肉眼一点点看和摸。由于在弧形的构件上爬行工作,相当危险,曾经发生过人员跌落的重大事故。人工检查不仅危险,劳动强度大,而且钢丝绳内部的缺陷是无法发现的,内部受潮气后材质的异化更是未知。因此寻找一种科学可靠的钢丝绳检测方案就非常必要。

## 2 仪器及检测原理<sup>[1-6]</sup>

20 世纪 60 年代我国就开始研发钢丝绳的在线检测仪器。由于钢丝绳是无限不确定长、结构复杂的受测物,只有计算机直接采样和处理才能不漏检、不误判。试验选用上海的 MTC 钢丝绳电脑探伤仪。该仪器基于虚拟仪器技术研制。如图 3 所示,当受测钢丝绳通过传感器时,传感器中具有高磁积能的稀土钕铁硼永久磁钢轴向、快速地深度磁化钢丝绳并达到磁饱和。

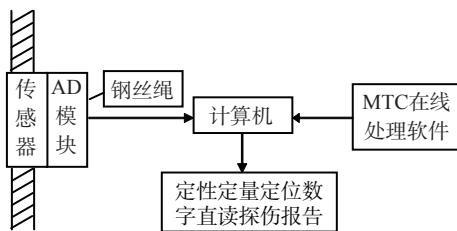


图 3 钢丝绳探伤仪在线检测系统框图

钢丝绳中的断丝和锈蚀缺陷会产生向外泄露的漏磁场。环状聚磁器将空间分布的强弱漏磁信号聚集,均化并将其引导到周向方位布置的多个霍尔元

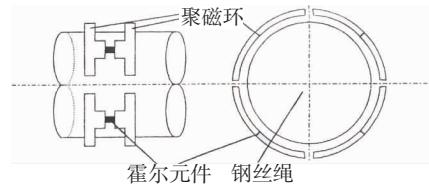


图 4 LF 聚磁原理

件阵列组合的检测回路中,定义为 LF,如图 4 所示。

钢丝绳中的锈蚀和磨损引起的金属截面积的变化使磁桥回路的平衡破坏,磁桥路的磁通量发生变化;由于霍尔元件置于磁桥路的平衡点,它能接受每一个磁能量微小变化的信号,定义为 LMA,如图 5 所示。钢丝绳与传感器相对位移由等空间采样的光电编码器获取,定义为 L。上述连续密集的 LF、LMA 和 L 信号通过数模转换,被压缩输入计算机。

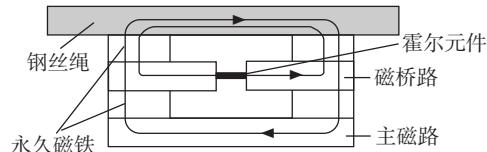


图 5 LMA 磁桥回路

所谓虚拟仪器就是以软件取代传统仪器,对传感器采集的信号进行分析处理的仪器,其中最关键的是建立有效的数学模型。

如图 6 所示,钢丝绳电脑探伤仪软件设计的数据模型是建立在 LF(断丝锈蚀等)、LMA(磨损、金属截面积变化、变形、松股等)和 L(传感器通过钢丝绳的距离位置)的三维空间之中。根据理论计算、实验室试验数据的统计和现场使用的样本筛选,从而取得最小离散率的实时处理模型。基于这一模型,对从新的受测钢丝绳内外部缺陷的数字信号进行反演计算,从而获得准确的钢丝绳中的全部缺陷的定性波形和定量数值。

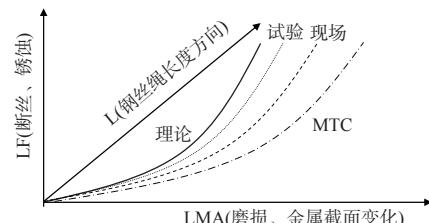


图 6 有效数学模型的建立

该仪器的最终检测报告可以明确告之哪里断丝,断几根,哪是磨损、磨损多少,并与标准规定一一对应,实现了定性定量定位的检测,避免了漏检和误判。

### 3 检测路径

钢丝绳的在线检测有两种途径,一是如索道牵引索、电梯、起重机、矿山提升机等的钢丝绳,可以将钢丝绳探伤仪的传感器安置在钢丝绳上,钢丝绳运行;二是如斜拉桥、滑索、工厂起重机的挂钩端等钢丝绳,是将传感器安置在钢丝绳上后,由机器人、绞车或人工牵引钢丝绳探伤仪的传感器。由于三汊河河口闸启闭机钢丝绳长度短,运行速度仅0.75 m/min,而且启闭机的运行必须报南京市水利局的批准,故采用在传感器上套绳索,由人工牵引的方式分股检测的途径。

根据三汊河河口闸启闭机机房和闸门的特点,将每根钢丝绳分成三段进行检测(图7)。检测方案为:

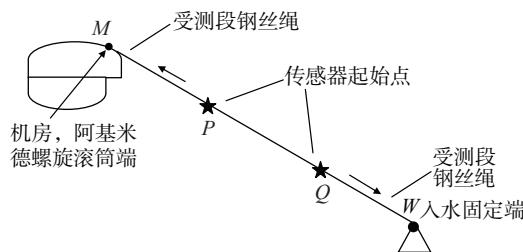


图7 检测途径

(1) 对1号机的下水端六根钢丝绳自上而下检测。

(2) 登上1号机机房对滚筒端六根钢丝绳自下而上检测。

(3) 到河中央对2,3号机的下水端两组各六根钢丝绳自上而下检测。

(4) 登上2,3号共用机房,对滚筒端两组各六根钢丝绳自下而上检测。

(5) 摆渡过河对4号机的下水端六根钢丝绳自下而上检测。

(6) 登上4号机机房,对滚筒端六根钢丝绳自下而上检测。

(7) 同时开动1~4号启闭机,图7中的24根钢丝绳P点进入滚筒,然后继续在4号机房中对Q点到P点的钢丝绳自下而上检测。

(8) 再登上2,3号机共用机房,分别对2,3号机的Q~P点的各六根钢丝绳自下而上检测。

(9) 回到1号机机房,对1号机Q~P的六根钢丝绳进行自下而上检测。

对以上24根72段钢丝绳在检测时编号,最后进行归类分析统计。检测场景见图8。



(a) 下水端检测 (b) 滚筒端检测

图8 检测场景

### 4 检测结果

受检钢丝绳报废标准的依据为:

(1) 由于钢丝绳是由启闭机升降,故可参照GB 5972—1986《起重机械用钢丝绳检验和报废实用规范》。

(2) 由于受检钢丝绳是处于露天使用,故可参照GB 9075—1988《架空索道用钢丝绳检验和报废规范》。

(3) 由于受检钢丝绳是长时间承载,故可参照GB 14738—1993《港口装卸用钢丝绳吊索使用技术条件》。

24根钢丝绳的全绳检测仅发现其中8根绳在滚筒端各有1处集中断丝,数量均为1根;整绳的磨损量均<1%。根据上述三项标准的规定,受测钢丝绳均可继续使用。

从图9在线检测实时显示的波形可以分析:①该钢丝绳的编结质量很好,未发现跳丝、松股等现象,可见钢丝绳在安装时先进行预拉力处理是比较重要的,能有效避免潮气入侵。②钢丝绳中也未发现遭雷击的材质变化,这是因为钢丝绳与闸门直接接触,闸门又浸在水中,接地效果很好。③8处断丝



图9 1号机滚筒端钢丝绳检测时实时显示波形  
(下转第61页)

幅图中的损伤分类可以看出,停止加载时已经出现了大量的碳纤维损伤,恒载后,此严重损伤仍然进行了较长的过程,最终的断裂强度比正常拉伸试样明显偏小。另外,从定位图上可以看出,恒载水平为25 kN时,恒载后出现的损伤在空间上分布比较随机,与加载阶段出现的损伤无关,而随着恒载水平的提高,恒载后的声发射事件在空间上的分布有集中的趋势,并且主要集中于加载阶段试样声发射密集的部位。这说明,在较高恒载条件下,材料的蠕变是加载期损伤的继续发展,而不是新损伤的产生。

由图4和表2可以发现一个值得关注的现象:试样在33 kN水平下恒载声发射事件收敛时间比42 kN水平还要长,产生强声发射事件数也明显多于42 kN水平。比较恒载试验的声发射撞击数-时间-载荷关联图,33 kN水平位于试样损伤的声发射撞击数主峰前部分,说明此时从数量上来说,试样正处于大规模损伤阶段,主要由基体开裂和界面分离引起,此时基体和界面抗蠕变能力已经有较大的降低。因此,在此时停止加载,并不能制止基体与界面损伤的继续发生。而42 kN水平处于此声发射撞击数主峰之后,此时大规模的基体和界面损伤已接近尾声,而此载荷水平并不能持续引发大规模的纤维损伤,因此产生了这种高载荷恒载声发射事件收敛性强于低载荷恒载声发射事件收敛性的现象。而47 kN载荷水平虽然也处于声发射撞击数峰值之后,但

(上接第55页)

丝的断口表明该缺陷并非因机械运行引起的,而是钢丝绳出厂前或在受预拉力时因钢材材质问题造成的。

## 5 探索思考

南京三汊河河口闸钢丝绳检测的事实证明了钢丝绳检测仪的有效性。

国家质监总局颁布的《特种设备检验检测机构核准规则》早已明确指定定性、定量、定位钢丝绳损伤仪是电梯和起重机检测的必备仪器,在全国500多家省市级的特检单位几乎都有仪器,但是几乎都未展开这项工作,究其原因为:钢丝绳的安全系数相当大,事故概率相当小;钢丝绳仪器检测的收费标准尚未制定;国家标准尚未规定一定要用仪器检测。

同时,生产钢丝绳检测仪器的企业即使在国外也很少,而且每家公司的规模都很小。与应用现状相反的是,国内的钢丝绳检测应用需求日益增长,近

此时的载荷水平足以引起纤维的大规模损伤,并且纤维损伤一般都产生强声发射信号,因此,在此载荷水平强事件数明显增多。从载荷曲线上来看,在这三种载荷水平恒载后800s内载荷下降量呈增大趋势,因此,从损伤程度来说,其抗蠕变能力是下降的。

## 3 结论

(1) 在较低速率下,碳/环氧复合材料断裂强度对拉伸速率的变化不够敏感,但是从损伤过程来看,随着拉伸速率增大,基体及界面损伤的高峰出现时间逐渐提前,断裂时损伤进行越来越不完全。

(2) 复合材料恒载声发射收敛效应反映了复合材料抗蠕变损伤的能力,收敛能力的大小反映了复合材料构件历史损伤的严重程度。恒载复合材料声发射事件收敛能力随载荷水平提高呈现下降趋势。

## 参考文献:

- [1] 周曦亚.复合材料[M].北京:化学工业出版社,2005:102—103.
- [2] 赵渠森.先进复合材料手册[M].北京:机械工业出版社,2007:243—246.
- [3] 嵇醒,邹祖烨.断裂模式与纤维材料的断裂时间[C].第二届全国复合材料学术会议.上海:1982:386—387.
- [4] 龙宪海.基于声发射技术的碳/环氧复合材料损伤研究[D].西安:第二炮兵工程学院,2009.

年钢丝绳芯胶带检测,即铁磁性细长材料检测仪器的市场需求越来越大;我国斜拉桥的数量已经达到世界第一,其中斜拉索的在线检测十分亟需。为此,建议无损检测行业应该尽快将钢丝绳电磁检测技术列入发展计划,并予以鼓励和支持。

## 参考文献:

- [1] GB/T 21837—2008 铁磁性钢丝绳电磁检测方法[S].
- [2] 金浩,申明.电梯钢丝绳风险评估探讨[J].中国电梯,2009,20(9):56—58.
- [3] 董信华,陈德奎.客运索道钢丝绳在线检测方法的科学探索[C].中国索道协会论文集.张家界:中国索道协会,2005.
- [4] SABS 0293 矿井提升钢丝绳评估规范[S].
- [5] 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.
- [6] 董信华,康家华.基于虚拟仪器技术的钢丝绳定性定量定位检测[J].中国特种设备安全,2006,20(增刊):31—33.