

# 声发射桥梁断丝监测报告

——柳州六景特大桥

美国物理声学公司



A Member of  **MISTRAS**  
A World of NDT Solutions

2018年7月25日

## 一、声发射桥梁断丝监测简介

本次采用声发射技术对桥梁吊杆进行断丝监测。目的在于解决斜拉桥、悬索桥的拉杆、主缆的长期监测。

自 2000 年以来，悬吊体系桥梁的断丝监测比前几十年有较快的发展。近几年又有多座悬吊体系桥梁已安装或正在安装声发射断丝在线监测系统，其中包括世界第五长的英国翰波（Humber）悬索桥，英国萨文（Severn）悬索桥，美国纽约曼哈顿（Manhattan）的曼哈顿的悬索桥，美国弗及尼亚的威内纳思（Varina-Enon）斜拉桥等。

所有这些桥梁的监测，除使用了全天候的声发射监测系统外，还装备了智能化的缆丝崩断自动识别与报警软件。该智能化软件可通过互联网络或手机短信向业主报告断丝发生的时间、地点、数量，使业主可以在第一时间掌握断丝信息并进行历史性健康记录回顾以制定有针对性的维修、维护措施。



图 1. WALT WITHMAN 大桥断丝测试现场

美国旧金山海湾大桥 Eye Bar Crack Monitoring 每天车流量 27 万。使用 640 通道声发射系统将从 2011 年起对 384 根眼条断裂进行 7 年的在线监测。



图 2. 美国旧金山海湾大桥 Eye Bar Crack Monitoring 断丝监测现场照片



图 3. 海湾大桥声发射监测信号异常位置及实际情况对比

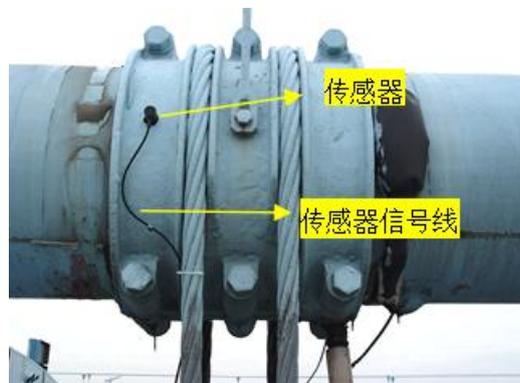


图 4. 主缆监测-探头放置位置

声发射在线监测的意义不但是对缆索断丝本身，更重要的是可以对缆索的健康状况进行跟踪并建立永久性的健康档案或病历。该档案可历史性地记录如下信息，即什么时候（年.月.日.分.秒）发生了断丝？在什么部位（精确到 $\pm 0.5$ 米）发生了断丝？每一次断了几根？整个缆索累计断了几根？在某个部位累计断了几根？断丝的概率是多少？断丝是否受气象因素的影响？在一些水文与地质灾害的情况下对桥梁缆索断丝有没有造成影响？

这些健康历史档案信息将为业主制定维修维护方案提供极大的帮助并极大地降低或消除业主对于缆索断丝状态毫无了解、毫无把握的担忧。尤其是对使用年限越长的桥梁，这种健康历史档案或桥梁病历就越有价值。它有助于有目的地对大桥进行维修，维护，保证大桥的安全运行与人民生命财产的安全，同时亦将极大地减少维修，维护成本。

## 二、声发射技术

当材料或结构内部发生变化或承载时，多数材料或结构会以应力波（声发射）的形式释放能量。这通常与裂纹的产生、塑性变形等现象有关。其中，声发射对裂纹（断裂）信号最为灵敏。

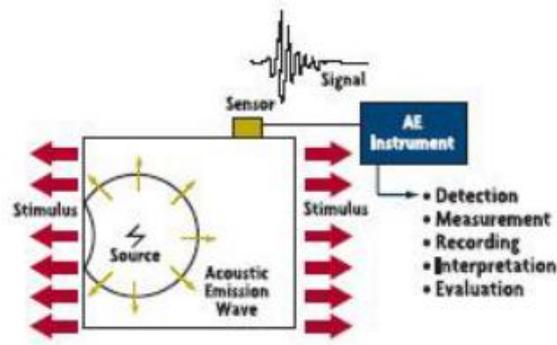


图 5. 声发射监测示意图

## 三、项目背景

广西六景郁江大桥是位于柳州-南宁高速公路跨越郁江的一座特大型桥梁。桥梁进行桥面更换及维修加固工程，在施工期间，需要对桥梁原有吊杆进行拆换，借此机会，我们进行桥梁吊杆的断丝监测。

原计划在保证吊杆承受足够拉力的情况下，利用钢筋剪等手段，对吊杆内的平行钢丝单根剪断，进行监测，但是由于现场原因，吊杆的拉力无法保证，同时断丝手段只能采取氧气切割的方式。



图 6. 桥面照片



图 7. 桥侧面照片

吊杆采用 PES7-61 高强度平行钢丝。

拆吊杆流程：需要先把吊杆附近的桥面板切割掉，然后，利用卷扬机控制两侧吊杆的拉力，减小吊杆所受拉力，直至拉杆变弯曲（不受力），然后，分别切断（氧气切割）与桥面相接处吊杆和桥拱处吊杆，完成吊杆的拆卸。

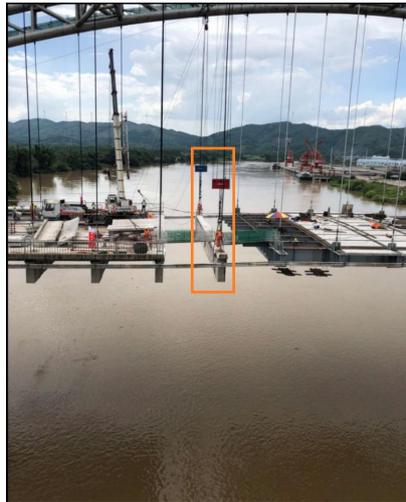


图 8. 拆卸吊杆（中间橘色为即将拆掉的吊杆）



图 9. 切断面（吊杆与桥面板相连接处）

## 四、 现场平行钢丝熔断

### 4.1 传感器布置

传感器分布在吊杆的三个位置处，上锚头（一处）、靠近桥面板（两处）。  
具体请见下图：



图 10. 上锚头（位置 3）

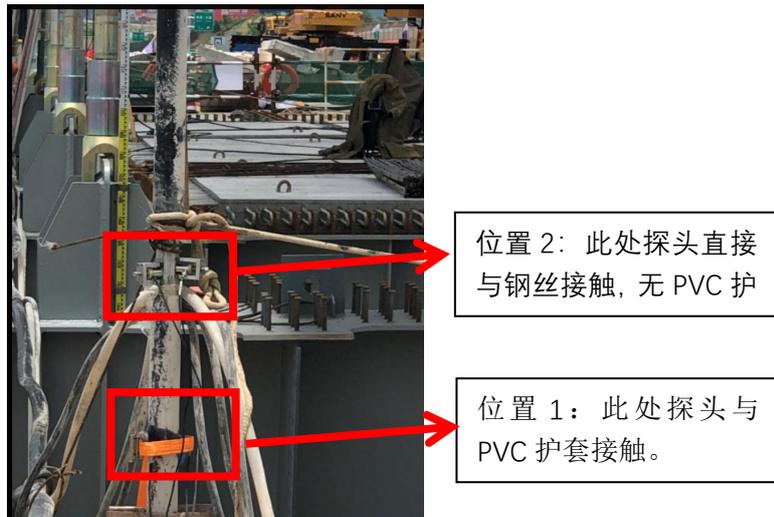


图 11. 靠近桥面板（比面板高 0.7-1m）

### 4.2 噪声测试

测试时，大桥已经两端封闭，没有车辆通行；吊杆附件有切割桥面板作业。  
从采集到的数据来看，噪声比较低。适合监测。

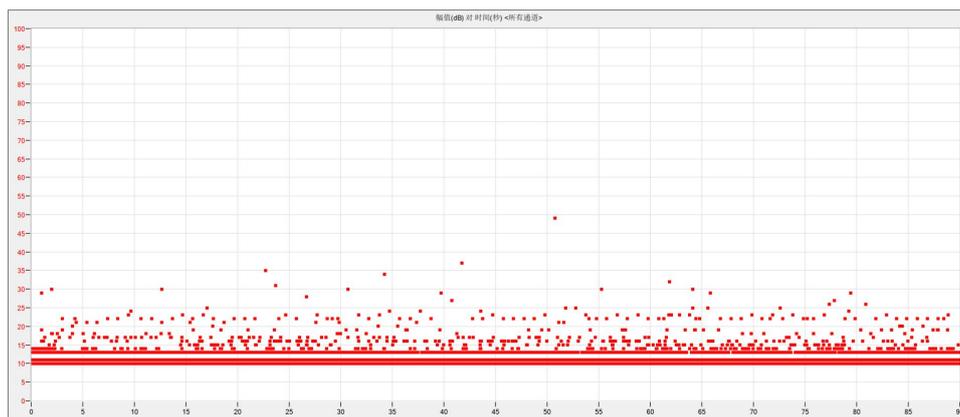


图 11. 噪声测试（幅值 VS 时间）

### 4.3 衰减测试

测试时，用中心冲，在位置 2（除去 PVC 护套）处，利用中心冲进行冲击。经过测试看出，PVC 护套的存在对于信号的衰减比较大，建议以后安装时，传感器应避免放在 PVC 保护套外，应尽量将传感器放置与拉杆丝或拉杆紧固件有直接金属接触的部位，如位置 3。

两组数据如下：

第一组

位置 2：3# 97、97、90、96

位置 1：1# 69、89、57、88

位置 3：5# 无（40dB 门槛）

第二组

位置 2：4# 93、96、99

位置 1：2# 74、75、88

位置 3：6# 53、53、51

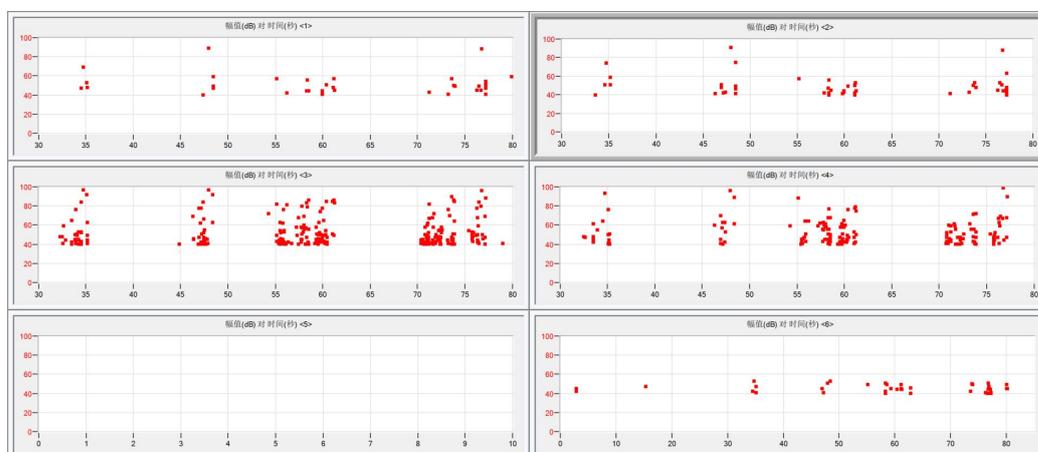


图 12. 衰减测试（幅值 VS 时间）

从定位图中可以看出，定出的信号发生位置是准确的。（中心冲，每冲击一次，相当于发射信号，定位图定信号发生的位置）

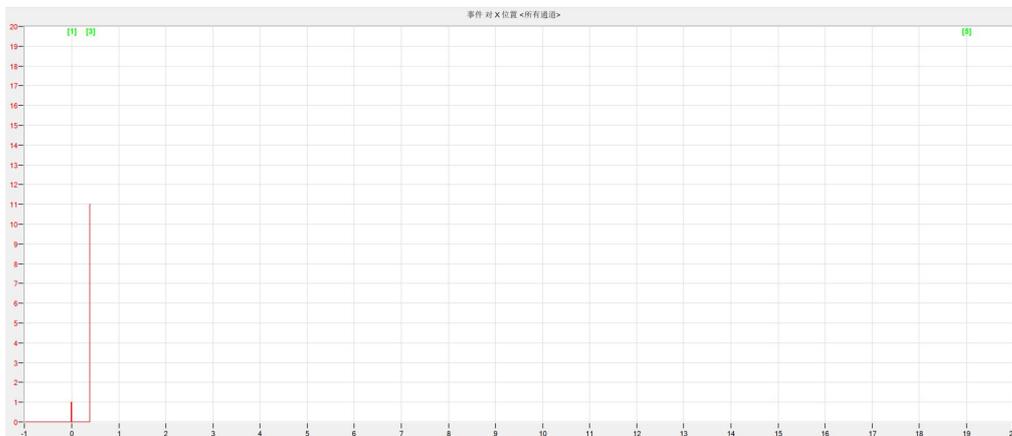


图 13. 定位图

#### 4.4 钢丝熔断

钢丝熔断监测时，吊杆处于由弯曲刚刚绷直的状态（利用卷扬机控制吊杆受力，吊杆刚开始受力），钢丝熔断时，没有听见“砰”的声音。具体情况请见下图

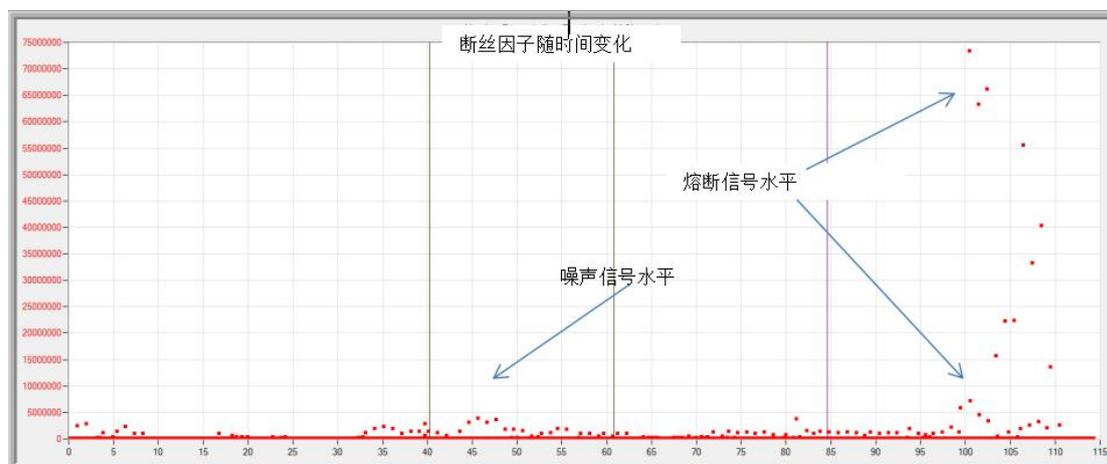


图 14. 断丝因子监测

从上图中可以看出，熔断信号非常明显。正常桥梁的断丝的信号要比此次熔断的信号更强更明显。

### 五、钢绞线拉伸绷断监测

静载拉断实验：钢绞线由 7 个钢丝缠绕组成。1、2 通道在右侧卡盘处；3、4 通道在左侧卡盘处。

现场实验图如下：



图 15. 试验机照片



图 16. 紧固端照片

### 5.1 信号衰减状况

利用中心冲，在左侧钢绞线上（靠近 3、4 通道），冲击三次，对比声发射通道接收信号幅值大小。经过比较，信号衰减很小。

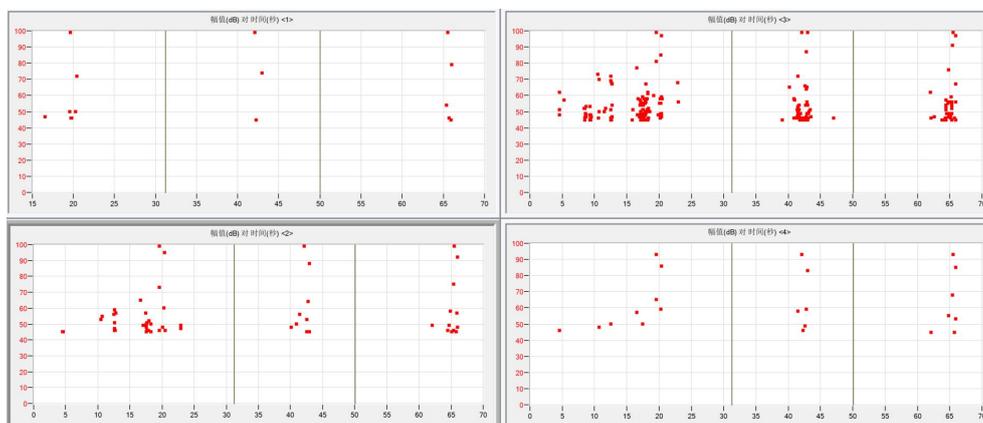


图 17. 衰减、探头耦合测试（幅值 VS 时间）

### 5.2 拉断试验

钢绞线在 750s 时，发出“砰”的断裂声响，断了 6 根，只有中心的一根钢丝还保持完整。断裂位置为右侧卡盘处。其中声发射断丝因子随时间的变化可见图 18。在 700 多秒的监测过程中，噪声水平包括由于拉伸过程中钢丝及卡具张紧与相互摩擦作用产生的信号水平都比较低。但在钢绞线拉断的瞬间，断丝因子至少

增大了两个数量级。

图 19 显示了断丝的定位，其中图 19(a)为定位次数与定位位置，亦即定位发生在靠近右边的 1、2 传感器处。由于 6 根断丝是同时发生的，定位次数为一次。图 19(b)则显示了定位发生的时间与位置，亦即在开始监测后的 750 秒发生断丝，其位置为靠近 1、2 传感器。

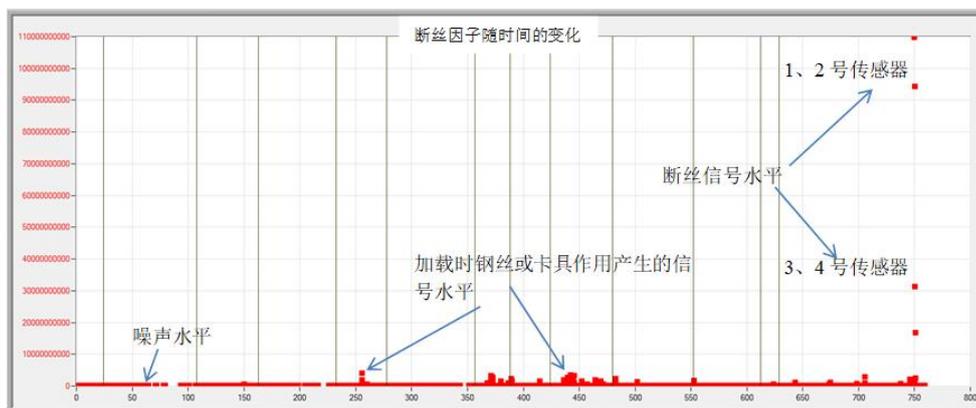


图 18. 断丝因子图

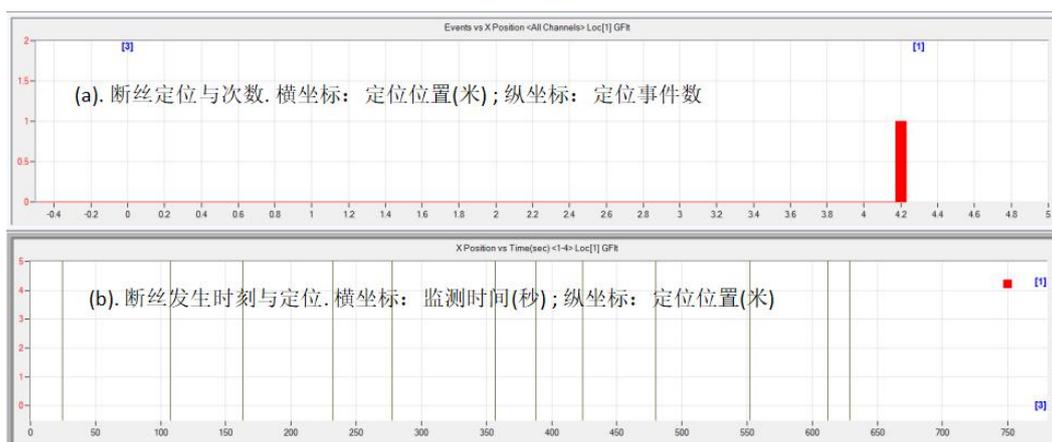


图 19. 定位图（图中红色柱状位置为软件定位出的断裂位置）

由上图可看出，声发射技术对于钢绞线的断丝监测（断丝发生的时间、发生位置）都是有效的。

## 六、结论与建议

### 6.1 平行钢丝熔断监测

(1) PVC 护套对于声发射信号的衰减比较明显，建议以后布置时，应避免放在 PVC 保护套外，应尽量将传感器放置与拉杆丝或拉杆固紧件有直接金属接触的部位，如遇到特殊情况要放置在 PVC 护套外，应减小传感器间距；上锚头放置传感器可参考图 10 位置或者图 20 中位置；

- (2) 本次监测，探头可以有效的监测到熔断时的信号，探头距离合适；
- (3) 本次监测，背景及环境噪声不大，和平时遇到的噪声信号特征基本一致，可采用通常的滤除手段进行滤波。
- (4) 本次监测，熔断效果明显，可从图 14 中看出。
- (5) 实际应用中，吊杆的安装后受到的拉力更大、断丝被拉断时信号也要更强更明显，监测效果也会更明显。



图 20. 上锚头传感器安装位置

## 6.2 钢绞线拉伸绷断监测

- (1) 监测效果明显，绷断发生的时间、位置都准确捕捉到了；
- (2) 对比熔断和拉断两个数据，发现：正常拉断的断丝因子比熔断的更高更明显；
- (3) 声发射断丝监测对于钢绞线同样有效果；