

# 桥梁结构声发射检测及监控方案

**摘要：**桥梁往往是一个城市，一个国家的象征，她不仅承载着巨大的经济意义，更承载了巨大的政治意义及战略意义。其安全性不仅关乎经济发展，更关乎国家安全。长时间以来，人们采用了多种检测方式试图尽早发现桥梁的安全隐患，保障桥梁安全运行，但效果并不十分理想。声发射技术自上世纪七十年代进入中国以来，已得到长足的发展并积累了大量的现场应用经验。声发射技术以其独有的技术特点，为桥梁定期检测及长期在线监控提供了一种新的方法。本文分析了混凝土桥，钢架桥，悬索桥及斜拉桥各自的材料及结构特点，提出了针对不同桥梁利用声发射技术进行定期检测及进行长期在线监控的方案。

**关键字：**声发射，桥梁结构，检测方案，监控方案

## 0. 前言

桥梁是用于跨越障碍物（如河流、海峡、山谷、道路等）而使道路保持连续的人工构造物，俗称道路咽喉。随着我国经济的快速发展，作为陆上交通运输的咽喉，桥梁的建设也进入了高速发展期。截止目前，我国大约有公路桥 32 万余座，铁路桥 5 万余座，如果再算上城市桥，管道桥及水利桥，我国现有桥梁数已超过 40 万座。我国已成为世界桥梁大国。桥梁往往是一个城市，一个国家的象征，她不仅承载着巨大的经济意义，更承载了巨大的政治意义及战略意义。其安全性不仅关乎经济发展，更关乎国家安全。

然而与巨大的桥梁保有数量及在建数量形成鲜明对比的是，近年来我国桥梁事故的频发。据不完全统计 2007 年至 2012 年间，全国共有 37 座桥梁垮塌，致使 182 人丧生，177 人受伤。如，2011 年 7 月，北京怀柔区白河大桥被超载大货车压塌；2011 年 7 月，福建武夷山公馆大桥北端发生垮塌事故，一辆旅游大巴车坠入桥下，造成 1 人死亡 22 人受伤；2010 年 1 月，昆明新机场在建大桥发生坍塌致 7 人死亡、34 人受伤；2007 年 8 月，湖南凤凰县沱江大桥发生垮塌，事故造成 64 人死亡、22 人受伤。就在 2013 年 2 月，河南省义昌大桥发生了因运输烟花爆竹车辆爆炸致 13 人死亡的重大垮塌事故。

这些桥梁事故的原因是多种多样的，大多数报道将矛头指向了车辆超载、洪水暴雨、年久失修、日常管护不到位等方面，但是桥梁自身的质量缺陷却是不容忽视的内因。如何能够尽早的发现桥梁的安全隐患成为了保障桥梁安全运行的重要手段。

## 1. 声发射技术简介

### 1.1 声发射基本原理

材料中局域源快速释放能量产生瞬态弹性波的现象称为声发射（Acoustic Emission，简称 AE），有时也称为应力波发射。裂纹在应力作用下扩展时，应力波由声发射源向四周扩散，并被安装于声发射源周围的传感器捕捉到。声发射系统根据应力波到达各个传感器的时间差，对声发射源进行定位，并能够根据接收到信号的强弱对缺陷的严重程度进行评价。

### 1.2 声发射技术的优势

声发射检测方法在许多方面不同于其它常规无损检测方法，其优点主要表现为：

- 1) 声发射是一种动态检验方法，声发射探测到的能量来自被测试物体本身，而不是像

超声或射线探伤方法一样由无损检测仪器提供；

- 2) 声发射检测方法对线性缺陷较为敏感,它能探测到在外加结构应力下这些缺陷的活动情况,稳定的缺陷不产生声发射信号;
- 3) 在一次试验过程中,声发射检验能够整体探测和评价整个结构中缺陷的状态;
- 4) 可提供缺陷随载荷、时间、温度等外变量而变化的实时或连续信息,因而适用于工业过程在线监控及早期或临近破坏预报;
- 5) 由于对被检件的接近要求不高,而适于其它方法难于或不能接近环境下的检测,如高低温、核辐射、易燃、易爆及有毒等环境;
- 6) 对于在役压力容器的定期检验,声发射检验方法可以缩短检验的停产时间或者不需要停产;
- 7) 对于压力容器的耐压试验,声发射检验方法可以预防由未知不连续缺陷引起系统的灾难性失效和限定系统的最高工作压力;
- 8) 由于对构件的几何形状不敏感,而适于检测其它方法受到限制的形状复杂的构件。

## 2. 桥梁定期检测

桥梁破坏多发生在桥梁的薄弱位置,事先根据桥梁设计资料了解桥梁的结构、受力点、存在缺陷等,分析桥梁薄弱位置对于桥梁检测及监控有着重要的意义。下面针对我国较常见的混凝土桥,钢架桥,悬索桥,斜拉桥的薄弱部位进行分析。

### 2.1 混凝土桥梁检测

混凝土桥梁具有维修简便,行车噪音低,使用寿命长,钢材用量及养护费用较少等特点,在我国有着较大的保有量。

#### 2.1.1 仪器选择

由于桥梁跨度较大,传统的声发射检测方式需要布置较长的信号线,且信号线最长也不能超过百米,限制了声发射技术应用于桥梁整体检测及长期监控。

本方案推荐使用北京声华兴业科技有限公司生产的 SAEW2 分布式声发射检测仪。本仪器具有如下特点:

- 采集到的数据可通过采用高速 Wi-Fi 无线通讯上传,波形传输速度可达 2Mbps,撞击参数传输达每秒 2 万个,可满足 64 通道的定位要求。
- 使用 GPS 时间为采集器提供时钟同步,同步精度优于 30 $\mu$ s,时差定位误差小于 0.1 米
- 多个采集器同步实时传输数据,同一事件组数据及时上传,实现时差定位
- 硬件具有实时数字滤波、滤波后波形重构及参数提取等深度实时数字信号处理功能

SAEW2 分布式声发射检测仪可以采用 9V-12V 直流供电。同时本仪器可以使用光纤通讯,最大传输距离可达 100 公里以上。如果现场条件不方便使用光纤通讯和电缆供电,本仪器可以选用标配电池,能够提供 8 小时的连续供电;或者采用太阳能电池,极大的延长了工作时间。数据传输可以选择通过 WiFi 无线通讯上传,传输距离 200 米,通过使用交换机和远程无线模块最大可将无线传输距离延长至 10 公里。

传感器选用北京声华兴业科技有限公司生产的 SR40M 传感器。SR40M 传感器为低频窄带传感器,适用于非金属材料的声发射检测。具体参数见表 1:

型号	尺寸 mm	使用温度	接口类型	接口位置	频率范围	谐振频率	灵敏度峰值	防护等级
SR40M	$\Phi 22 \times 36.8$	-20~120 $^{\circ}$ C	M5-KY	侧面	15KHz~70KHz	40KHz	> 75dB	IP66

表 1

前置放大器增益为 40dB，带通频率为 10KHz~2.5MHz。

### 2.1.2 布置方法：

布置传感器时，考虑到声发射信号在混凝土中传播损失较大，为了保证缺陷检出率和定位精度，两传感器间距不宜超过 2 米。

混凝土是典型的脆性材料，抗拉性能低，因此在混凝土梁中部等受拉力的位置容易发生破坏。传感器应在离开混凝土梁中间位置 1 米的位置进行安装，且两个传感器为一组，对称布置。



另外混凝土桥梁的桥墩与桥面连接位置由于受力较大，也是容易发生破坏的地方。检测此位置时传感器应在距离接缝位置 1 米处布置，接缝上下各一排。



## 2.2 钢结构桥检测

钢材强度高，性能优越，表观密度与许用应力之比较小，故钢结构桥跨越能力较强。钢桥的构件制造最适合工业化生产，运输建造较为方便，破坏后容易修复及更换，但钢材易锈蚀，养护困难。

### 2.2.1 仪器选择

对于钢结构桥的检测同样可选择 SAEW2 分布式声发射检测仪。

传感器选用同为北京声华兴业科技有限公司生产的 SR150N 传感器。SR150N 传感器为中低频传感器，适用于检测金属材料的声发射信号。传感器具体参数见表 2：

型号	尺寸 mm	使用温度	接口类型	接口位置	频率范围	谐振频率	灵敏度峰值	防护等级
SR150N	Φ19×19.5	-20~80℃	M5—KY	侧面	22KHz~220KHz	150KHz	>75dB	IP66

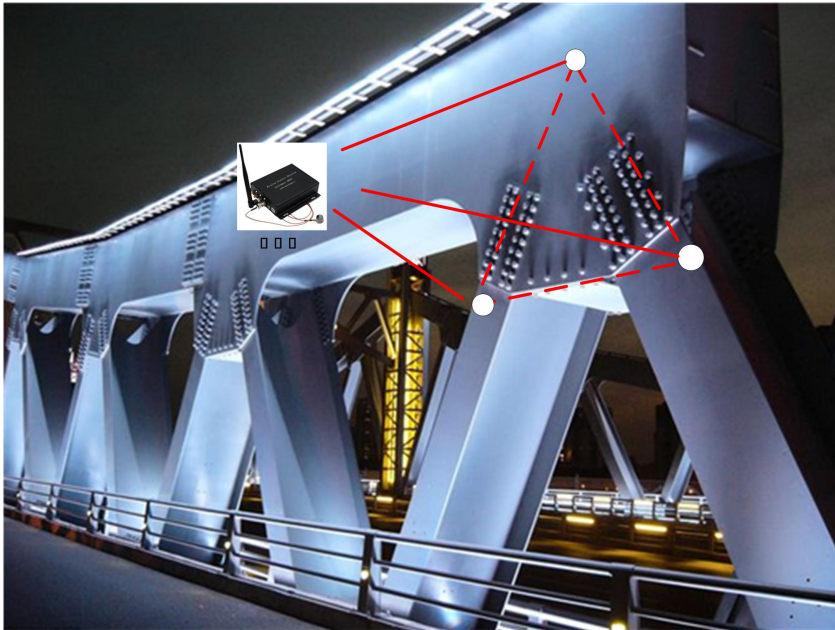
表 2

前置放大器增益为 40dB，带通频率为 10KHz~2.5MHz。

### 2.2.2 布置方法

声发射信号在钢结构中的传播距离较远，能量损失小，因此可放大两个相邻传感器的距离，但为了保证检测的准确度，传感器间距不宜超过 5 米。

钢材的塑性和韧性好，使得钢结构桥梁的抗拉、抗压、抗剪强度相对来说较高，钢构件断面小、自重轻。钢结构桥梁在检测时应重点对高强螺栓连接处等位置进行检测。传感器布置时应将这些薄弱位置覆盖在有效的检测区域内，且传感器应当与被检测螺栓区域离开二十厘米的距离。



## 2.3 悬索桥、斜拉桥的检测

斜拉桥，又称斜张桥，是将桥面用许多拉索直接拉在桥塔上的一种桥梁，是由承压的塔，受拉的索和承弯的梁体组合起来的一种结构体系。悬索桥(吊桥)，是以通过索塔悬挂并锚固于两岸(或桥两端)的缆索作为上部结构主要承重构件的桥梁，桥面由从缆索垂下的吊杆吊住。

斜拉桥和悬索桥的主要受力部件为拉索或拉杆，因此对拉索及拉杆的检测也是十分有必要的。传统的检测方法很难对拉索及拉杆进行检测。当前拉索的材料多为钢缆，疲劳积累损

伤和锈蚀是拉索最普遍的两种损伤。由于制造、安装的原因，拉索不可能完全与理论设计一致，拉索中各股钢丝的受力也不尽相同，利用声发射技术可以清晰的捕捉到钢丝断裂的瞬间。

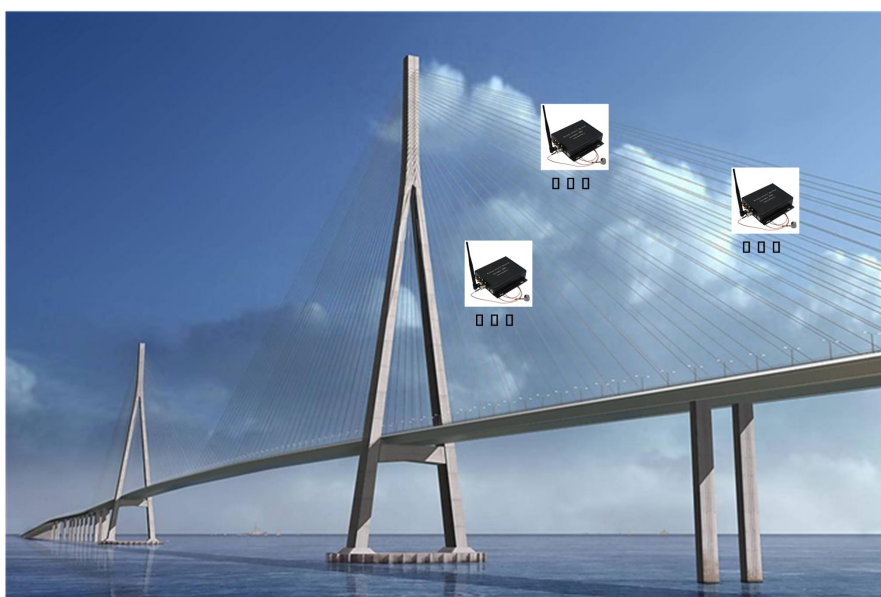
### 2.3.1 仪器选择

检测仪器推荐选用 SWAE2 分布式声发射检测仪。本声发射仪的采集器小巧轻便，可以被直接安装于拉索或拉杆上需要检测的位置附近。采用无线通讯技术可以减少布置难度及信号线对检测的影响。

传感器根据拉索及拉杆的材质决定，如被检测物为非金属材质，推荐选用 SR 40M 传感器，具体参数见表 1。

如为金属材质，推荐选用 SR 150N 传感器，具体参数见表 2。

### 2.3.2 传感器布置



对于钢制拉索声发射传感器布置的距离不宜超过 5 米；对于新兴的碳纤维及高分子材料拉索，传感器的布置距离需要事先通过实验进行计算。

## 3. 长期在线监控方案

### 3.1 声发射仪器的选择

对于桥梁的长期在线监控，本方案推荐选用北京声华兴业科技有限公司的 SAEW2 分布式声发射检测仪。

SAEW2 分布式声发射检测仪应用于长期在线监测具有如下优势：

- 每个声发射仪采集器可以使用太阳能电池供电，可满足长时间在线监测。
  - 采集到的数据可通过采用高速 Wi-Fi 无线通讯上传，波形传输速度可达 2Mbps，撞击参数传输达每秒 2 万个，可满足 64 通道的定位要求。
  - 实现多通道数据无线通讯 200 米有效距离，使用远程无线通讯模块，无线最大传输距离可达 10 公里，使用光纤以太网连接最大传输距离可达 100 公里以上
  - 多个采集器同步实时传输数据，同一事件组数据及时上传，实现时差定位
  - 硬件具有实时数字滤波、滤波后波形重构及参数提取等深度实时数字信号处理功能
- 传感器的选择与定期检测方案相同。

### 3.2 监控与评估

#### 3.2.1 监控的前期准备

监控的前期准备工作，传感器布置，监控开始前的仪器调试，系统灵敏度校准，衰减测量，预采集等，均与定期检测基本一致。所不同的是，不需要对被测桥梁进行加载。且区别于定期检测，长期监控的传感器布置不需要立即对缺陷进行精确定位，可以在发现缺陷后，进行局部检测时进行精确定位。因此，传感器仅仅在可能发生破坏的位置单个布置即可。

#### 3.2.2 开启监控

监控开始前，在桥梁正常工作时，分不同时段分别采集 30 分钟的噪声。通过分析不同时段的噪声，识别噪声信号的特征，采用触发门限的设置及滤波器的设置，进行幅值滤波、频率滤波，可以尽可能的剔除噪声影响。

设置完毕后，即可开启监控系统。

#### 3.2.3 监测评估

对于检测到的缺陷信号，利用参数、波形、事件定位、关系图等实时数据处理功能，观察实时分析结果，

声发射信号处理通常采用参数分析法和波形分析法。声发射信号源的强度可用能量幅度或计数参数来表示，源的强度计算取源区前 5 个最大的能量、幅度的平均值。

数参数的平均值通过对声发射事件的活度与强度的分析当量。通过以上分析，对桥梁的状态做出评定。