

桥梁结构声发射检测及监控方案

兰川，刘时风，董屹彪

（北京声华兴业科技有限公司）

摘要：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]：

- 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，如高温、核辐射、易燃、易爆及有毒等环境；
- 6) 对于在役设备的定期检验，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) 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

2.1 混凝土桥梁检测

2.1.1 仪器选择

本方案推荐使用北京声华兴业科技有限公司生产的 SAEU2S 集中式声发射检测仪。

集中式声发射检测仪的采集卡都集中安装于声发射采集器主机中。由于混凝土桥梁的长度一般较短，布线工作较为轻松，故使用更为稳定，性能更加优异的集中式声发射检测仪。

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。前置放大器增益为 40dB，带通频率为 10KHz~2.5MHz。

2.1.2 布置方法：

混凝土桥梁的声发射检测主要侧重于桥梁结构的局部损伤状态检测，通过选取受力集中部位布置声发射传感器，采用应力损伤驱动的特征参数对结构的局部构件损伤进行判断、评价和定位，并能有效地评估其损伤的程度，传感器布置方案如下^[2]：

混凝土材质属于非均质高衰减材料，选用低频传感器用来保证检测范围，根据混凝土桥梁结构的受力特点选择合适的安装位置。



图 2-2 混凝土桥墩桥体连接处检测位置示意图

首先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，在接近桥墩与桥面接触面的位置布置一定数量的传感器，传感器应在距离接缝位置约 1 米处布置，

传感器安装于桥面底面上。

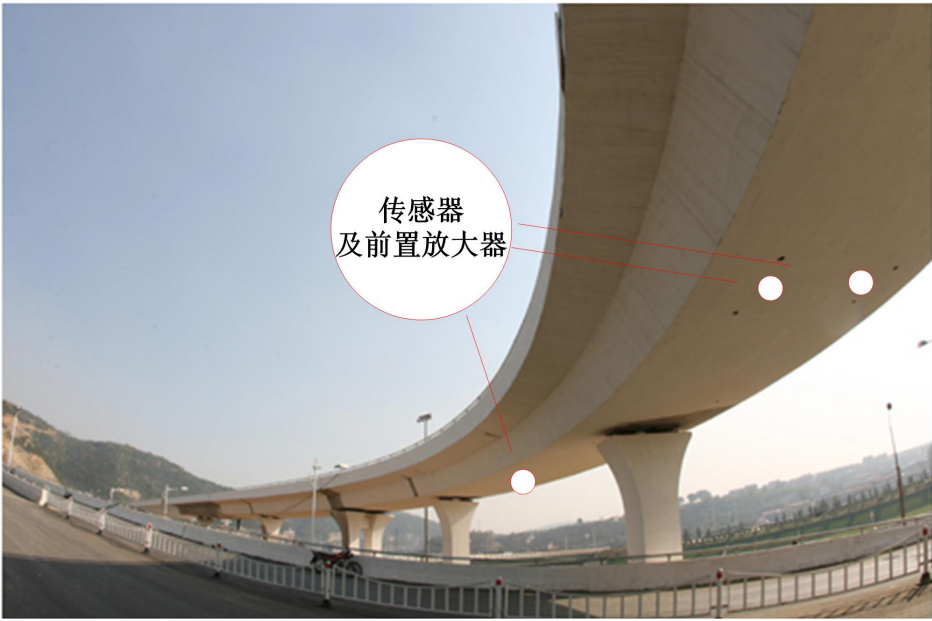


图 2-1 混凝土桥底部检测位置示意图

另外在两端桥墩的中间位置，桥面受到最大的表面拉应力，选在桥面中间位置纵向布置一定数量的传感器。同样安装在桥面底面上。如图 2-1 与图 2-2 所示。

传感器的耦合和固定方式可采用硅胶粘和，具有较好的声波传导性能和粘合强度。检测人员及电脑可以安置在桥梁的一端，减轻了供电压力及人为干扰。

检测系统布置方式如图 2-3 所示，传感器及前置放大器布置于检测位置，传感器采集到的信号经前置放大器通过同轴电缆上传至采集器主机；采集器主机与交换机相连，通过无线网络将数据上传至计算机。

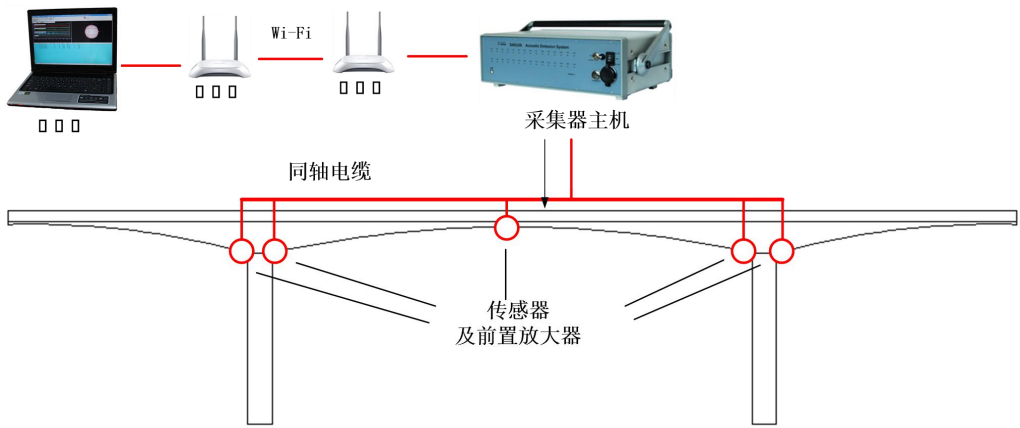


图 2-3 混凝土桥检测系统架构图

2.2 钢结构桥检测

2.2.1 仪器选择

钢结构桥一般跨度比较大，如果选用 SAEU2S 集中式声发射检测仪则布线时工作量非常

大。因此对于钢结构桥的检测，推荐选择 SAEW1 分布式声发射检测仪。

SAEW1 分布式声发射检测仪数据传输可以选择通过 WiFi 无线通讯上传，传输距离 100 米，供电可以采用标配电池，能够提供 6 小时的连续供电；或者采用外接更大的电池组，延长工作时间。分布式声发射检测仪区别于传统声发射系统，无需在现场布置数据线及电源线。

传感器选用同为北京声华兴业科技有限公司生产的 SR150M 传感器。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。

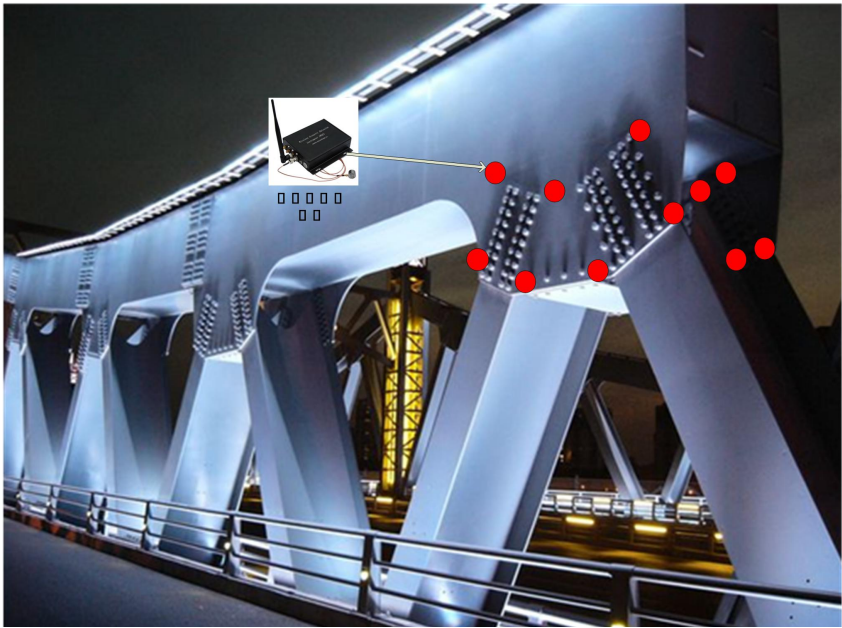


图 2-4 检测部位局部图

钢结构桥梁在检测时应重点对工字钢梁与支座的高强螺栓连接处等位置进行检测。传感器布置时应将多个传感器组合布置，将螺栓连接处位置覆盖在有效的检测区域内，形成区域定位，传感器布置的位置示意图见图 2-4 的红色标记处，背面被遮挡的部位与前面的监测位置受力相同处也应检测。

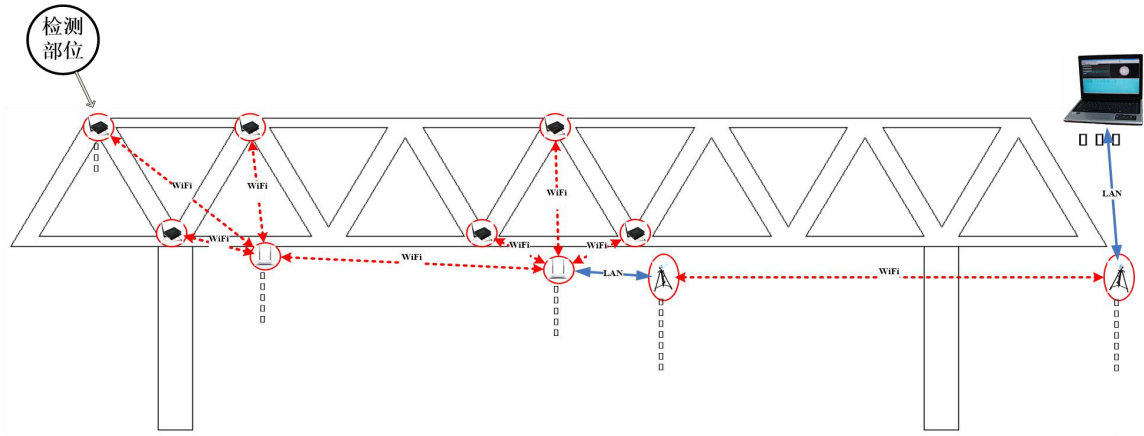


图 2-5 钢结构桥检测系统架构图

传感器的固定采用磁性夹具，检测人员及电脑可以安置在桥梁的一端的监控室。检测时将传感器及采集器都布置在检测位置附近，并在合适位置布置无线交换机；采集到的数据通过交换机传至 WiFi 远程模块，然后再上传至数公里外的计算机。

2.3 悬索桥、斜拉桥的检测

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 SAEW1 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

2.3.2 传感器布置



对于钢制拉索，在端头的重点检测部位位置声发射传感器布置数量应不少于 2 个，采用 SR150M 中频传感器，这样可以定位缺陷的精确位置，传感器的布置示意图见图 2-6

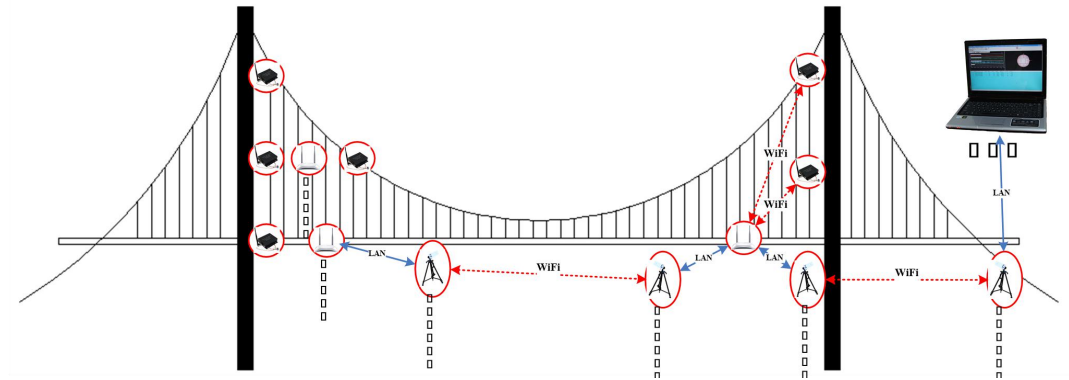


图 2-6 悬索桥检测系统架构图

待检测的钢索中间部位距离很长，推荐选用 SR 40M 低频传感器，以增加有效检测距离，但距离不宜超过 10 米。图 2-7。

交换机通过电池供电，做好防护后，可放置在任意位置。采集到的数据通过 Wi-Fi 经交换机上传至计算机。

图 2-7 斜拉桥拉索连接处检测示意图

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 SAEW1 分布式声发射检测仪。

SAEW1 分布式声发射检测仪的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。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。本仪器还可以使用光纤通讯，最大传输距离可达 100 公里以上。

3.2 监控与评估

3.2.1 监控的前期准备

桥梁结构声发射长期监测的系统架构见图 3-1
分散在各检测部位的采集器通过光纤与光端机相连，通过光端机将数据上传至计算机。

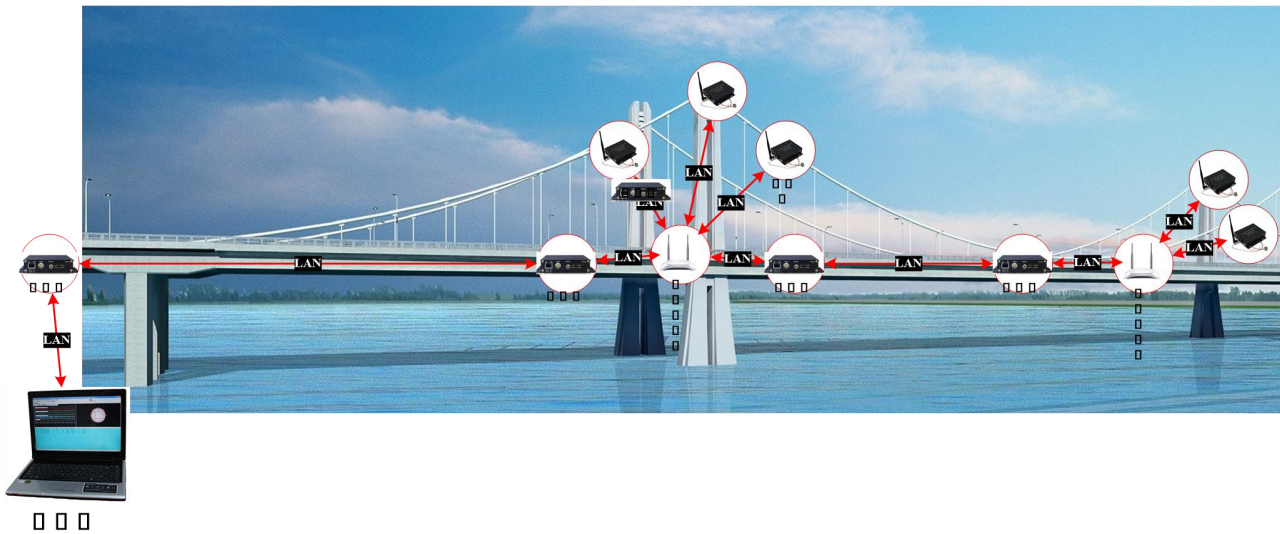


图 3-1

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。其它如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。

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。通过分析不同时段噪声的特征，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。

参考文献：

[1]沈功田、刘时风、戴光. 声发射检测[M]. 2004.8

[2]丁幼亮, 邓扬, 李爱群. 声发射技术在桥梁结构健康监测中的应用研究进展[J]. 防灾减灾工程学报, 2010.6, 30(3): 341-351