

中国工程建设标准化协会标准

Standard of China Association for Engineering Construction
Standardization (CECS)

公路桥梁声发射检测与监测技术规程

Technical Regulations for Acoustic Emission Detection and Monitoring
of Highway Bridges
(征求意见稿)

中国工程建设标准化协会公路分会 发布

Issued by China Association for Engineering Construction
(CECS G)

中国工程建设标准化协会标准

Standard of China Association for Engineering Construction
Standardization (CECS)

公路桥梁声发射检测与监测技术规程

Technical Regulations for Acoustic Emission Detection and Monitoring of
Highway Bridges

T/CECS XXX-2022

主编单位：东南大学

北京九通衢检测技术股份有限公司

发布机构：中国工程建设标准化协会

施行日期：2022 年 XX 月 XX 日

人民交通出版社股份有限公司

2022 北京

前 言

随着经济水平和社会需求的不断提升，公路桥梁结构所承受交通流量及重车、超重车过桥数量日益增加，同时，其服役寿命不断增长。这导致现役公路桥梁结构开始出现严重的功能退化和安全隐患问题。因此，开展公路桥梁结构安全评估的重要性不言而喻。要合理评估桥梁的健康状况，首先应正确认识桥梁在不同环境下的结构特性以及识别并定位结构中已有的损伤，而现有无损监测技术中的声发射技术在该方面具有较为突出的优势。因此，为准确获取公路桥梁结构内部健康状况数据，提高现有公路桥梁结构安全监测的全面性和先进性，对基于声发射技术的公路桥梁检测和监测方法、数据分析、评估预警提出系统性的技术要求和指导性规定，中国工程建设标准化协会公路分会中建标〔2020〕69号文下达了《公路桥梁声发射检测与监测技术规程》（以下简称“本规程”）计划，并由东南大学和北京九通衢检测技术股份有限公司共同负责编制。

本规程分为9章，主要内容包括总则、术语和定义、基本要求、声发射检测程序、声发射定位源信号评定、声发射检测及结果评定、声发射监测及结果评定和声发射监测系统维护。

本规程是基于通用的工程建设理论及原则编制，适用于不同结构形式公路桥梁的声发射检测和监测。对于某些特定专项应用条件，使用本规程相关条文时，应对适用性及有效性进行验证。

本规程由中国工程建设标准化协会公路分会负责归口管理，由东南大学和北京九通衢检测技术股份有限公司负责具体技术内容的解释，在执行过程中如有意见或建议，请函告本规程日常管理组，中国工程建设标准化协会公路分会（地址：北京市海淀区西土城路8号；邮编：100088；电话：010-62079839；传真：010-62079983；电子邮箱：shc@rioh.cn），或东南大学（地址：南京市江宁区东南大学路2号；邮编：211189；电话：025-52091304），以便修订时研用。

主 编 单 位：东南大学

北京九通衢检测技术股份有限公司

参 编 单 位：河海大学

江苏东印智慧工程技术研究院有限公司

东衢智慧交通基础设施科技（江苏）有限公司

北京特希达科技有限公司

北京特希达交通勘察设计院有限公司

柳州欧维姆结构检测技术有限公司

北京特希达交通基础设施顾问有限公司

主 编：吴 刚、陈徐东

主要参编人员：李 征、张 建、何小元、朱 虹、崔 毅、纪国睦、
周庠天、王燕华、孙泽阳、张 华、陈金桥、侯士通

主 审：王春生

参与审查人员：赵尚传、任红伟、幸坤涛、张宇峰、张建东、夏叶飞

征求意见稿

目 次

1	总则.....	- 1 -
2	术语和定义.....	- 2 -
3	基本要求.....	- 3 -
3.1	一般规定.....	- 3 -
3.2	测试系统要求.....	- 3 -
3.3	作业环境要求.....	- 5 -
4	声发射测试程序.....	- 6 -
4.1	一般规定.....	- 6 -
4.2	前期准备.....	- 6 -
4.3	传感器安装.....	- 6 -
4.4	系统调试.....	- 7 -
4.5	数据采集与过程观察.....	- 8 -
4.6	测试数据分析.....	- 8 -
5	声发射定位源信号等级评定.....	- 11 -
5.1	一般规定.....	- 11 -
5.2	声发射源区确定.....	- 11 -
5.3	活性等级划分.....	- 11 -
5.4	强度等级划分.....	- 12 -
5.5	综合等级评定.....	- 12 -
5.6	定位源验证.....	- 12 -
6	声发射检测及结果评定.....	- 14 -
6.1	一般规定.....	- 14 -
6.2	加载方案.....	- 15 -
6.3	检测方法.....	- 15 -
6.4	检测结果评定.....	- 16 -
6.5	检测报告.....	- 16 -
7	声发射监测及结果评定.....	- 18 -

7.1 一般规定.....	- 18 -
7.2 监测方法.....	- 18 -
7.3 监测结果评定.....	- 20 -
7.4 监测报告.....	- 20 -
8 声发射监测系统维护.....	- 21 -
8.1 一般规定.....	- 21 -
8.2 巡视检查.....	- 21 -
8.3 设施维护.....	- 22 -
附录 A.....	- 23 -

征求意见稿

1 总则

1.0.1 为指导公路桥梁结构声发射检测和监测，提高无损检测水平，制定本规程。

1.0.2 本规程适用于公路桥梁的拱、梁、墩台、索缆及吊杆等在服役期间采用声发射进行检测和监测的系统设计、测试方法与测点选择、结果评定与预警以及监测系统维护。

1.0.3 公路桥梁声发射检测与监测除应符合本规程的规定外，尚应符合国家和行业现行有关标准的规定。

条文说明

本规程在编写过程中主要参考了如下国家标准、行业标准和地方标准：《工程测量规范》(GB 50026)、《混凝土结构现场检测技术标准》(GB/T 50784)、《公路桥涵养护规范》(JTG 5120)、《公路桥梁技术状况评定标准》(JTG/T H21)、《公路桥梁承载能力检测评定规程》(JTG/T J21)、《公路桥梁荷载试验规程》(JTG/T J21-01)、《无损检测 人员资格鉴定与认证》(GB/T 9445)、《焊缝无损检测—超声检测—技术、检测等级和评定》(GB/T 11345)、《无损检测 术语 声发射检测》(GB/T 12604.4-2005/ISO 12716: 2001)、《金属压力容器声发射检测及结果评价方法》(GB/T 18182)等。

2 术语和定义

《无损检测 术语 声发射检测》(GB/T 12604. 4-2005/ISO 12716: 2001)和《公路桥梁技术状况评定标准》(JTG/T H21)界定的以及下列术语和定义适用于本规程。

2.0.1 声发射源 acoustic emission source

能量快速释放而产生瞬态弹性波的物理源点或部位。

2.0.2 声发射定位源 acoustic emission location source

通过分析声发射数据确定被测构件上声发射源的位置。

2.0.3 活性 activity

声发射源的事件数随加载过程或时间变化的程度。

2.0.4 强度 intensity

声发射源的事件所释放的平均弹性能。

2.0.5 活性缺陷 active defect

因载荷作用而产生瞬态弹性波释放的缺陷。

2.0.6 载荷比 load ratio

循环加载程序中,本次荷载循环开始出现声发射活动时的荷载值与上一荷载循环的荷载值的比值。

2.0.7 平静比 calm ratio

循环加载程序中,本次荷载循环卸载阶段的累计声发射事件数与加载至上一荷载循环期间总的声发射事件数的比值。

3 基本要求

3.1 一般规定

3.1.1 检测和监测前应根据各方要求与设计文件明确目的,结合工程结构特点、现场及周边环境条件等因素,制定方案,并与公路桥梁运维管理系统良好衔接。

3.1.2 公路桥梁结构声发射检测和监测应有测试任务书和完备的技术方案,测试方案应经过审核批准。

3.2 测试系统要求

3.2.1 声发射测试系统应具备数据实时采集、显示和处理的功能,包括声发射传感器、系统主机、前置放大器、电缆线、显示和存储等单元。

3.2.2 声发射传感器应符合下列规定:

- 1 选型应遵循“技术先进、性能稳定、兼顾性价比”的原则;
- 2 应符合系统对灵敏度、通频带、动态范围、稳定性、供电方式及寿命等要求,传感器的灵敏度不宜低于 $0.5\text{kV}/(\text{m/s})$;
- 3 对于钢结构,宜选择中心频率为 $100\sim 200\text{kHz}$ 之间的声发射传感器;对于混凝土结构,宜选择中心频率为 $30\sim 100\text{kHz}$ 之间的声发射传感器;对于预应力混凝土结构,宜选择中心频率低于 50kHz 的声发射传感器。

3.2.3 声发射系统主机应符合下列规定:

- 1 声发射系统主机应有覆盖检验区域的通道数,应至少能实时显示和存储以下声发射信号参数:撞击数、到达时间、门槛、幅度、振铃计数、能量、上升时间、持续时间。如图 3-1 所示。

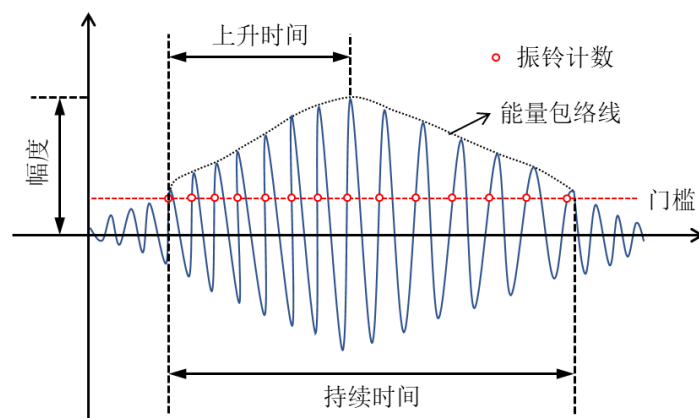


图 3-1 单个撞击声发射信号及其特征参数

- 2 系统主机宜具有接收和记录力、温度等外部传感器输出的电信号的功能。
 - 3 各个通道的独立采样频率不应低于传感器响应频率中心点频率的十倍。
 - 4 门槛精度应在 $\pm 1\text{dB}$ 的范围内。
 - 5 声发射信号计数测量值的精度应在 $\pm 5\%$ 范围内。
 - 6 从信号撞击开始算起 10s 内, 声发射系统应对每个通道具有采集、处理、记录和显示不少于每秒 20 个声发射撞击信号的短时处理能力; 当连续监测时, 声发射系统应对每个通道具有采集、处理、记录和显示不少于每秒 10 个声发射撞击信号的处理能力。当出现数据堵塞时, 系统应能发出报警信号。
 - 7 峰值幅度测量值的精度应在 $\pm 2\text{dB}$ 范围内, 同时满足信号不失真的动态范围不应小于 65dB。
 - 8 能量测量值的精度应在 $\pm 5\%$ 范围内。
 - 9 对于时差定位声发射检测系统, 每个通道的上升时间、持续时间和到达时间的分辨率至少应为 0.25s, 精度应在 $\pm 1\text{s}$ 范围内, 各通道之间的误差不应大于平均值的 $\pm 34\text{s}$ 。
 - 10 系统测量外接参数电压值的精度不应低于满量程的 2%。
 - 11 声发射采集软件应能实时显示声发射信号参数、声发射信号参数之间和参数随力或时间的关联图, 以及声发射定位源的线定位和平面定位图, 实时显示的滞后时间不应超过 5s。
 - 12 声发射分析软件应能回放原始声发射检测数据, 并能根据重新设定的条件对声发射检测数据进行滤波、定位、关联和识别等分析处理。
- 3.2.4** 传感器与前置放大器之间的信号线长度不应超过 2m, 且能够屏蔽电磁噪声干扰。
- 3.2.5** 前置放大器与系统主机之间的信号电缆应能屏蔽电磁噪声干扰。在任意 30m 范围内, 信号电缆的衰减损失不应大于 1dB/30m。信号电缆长度不宜超过 150m。
- 3.2.6** 前置放大器短路噪声的有效电压值不应大于 $7\mu\text{V}$ 。在工作频率和工作温度范围内, 前置放大器的频率响应变化不应超过 3dB。前置放大器与传感器的频率响应应相匹配, 其增益应与系统主机的增益设置相匹配, 通常为 40dB 或 34dB。前置放大器采用差分电路时, 其共模噪声抑制不应低于 40dB。

3.2.7 放置在前置放大器和系统主机处理器内的滤波器的频率响应范围应与传感器的频率响应相匹配。

3.2.8 声发射传感器、前置放大器和系统主机应每年至少进行 1 次校准。声发射传感器的校准应按 GB/T 19800 和 GB/T 19801 的要求进行,其他部件的校准按仪器制造商规定的方法进行。校准结果应满足要求。

3.3 作业环境要求

3.3.1 相关信号电缆、监测设备与大功率无线电发射源、高压输电线和微波无线电信号传输通道的距离应符合现行《综合布线系统工程设计规范》(GB 50311)的相关规定。

3.3.2 监测接收设备附近不宜有强烈反射信号的大面积水域、大型建筑、金属网及无线电干扰源。

4 声发射测试程序

4.1 一般规定

4.1.1 声发射设备应根据项目和系统功能进行选择,适用范围、测试精度和采样频率应满足测试项目的要求,并应具有稳定性、耐久性、兼容性和可扩展性。

4.1.2 应确保所使用的声发射设备在检定或校准周期内,确保测试时设备处于正常状态。

4.2 前期准备

4.2.1 测试前需调查公路桥梁结构现场和有关资料,应包括下列工作内容:

1 收集与被测公路桥梁结构有关的勘察设计、施工、监理和运营、养护试验以及维修加固等方面的技术资料。

2 调查被测公路桥梁结构现状缺陷、环境条件以及荷载变化情况。

3 进一步明确测试目的和具体要求,并了解是否已进行过检测。

4.2.2 应找出并排除可能出现的噪声源,如脚手架的摩擦、内部或外部支撑的移动、电磁干扰、机械振动和流体流动等。

4.3 传感器安装

4.3.1 传感器安装部位应尽量远离螺栓连接、支座和焊缝等区域。如果结构中存在螺栓连接、铆接等可能导致声能量产生严重衰减的,应在连接两侧分别设置传感器阵列。

4.3.2 被测部位应尽量位于传感器阵列中间区域。如无特殊要求,相邻传感器之间的间距应尽量接近。

4.3.3 传感器阵列的布置应按照如下原则(附录 A):

1 立柱、桥墩、桥台、支座等构件宜采用三维定位。

2 桥面板、局部结构宜采用面定位。

3 拱圈、索缆、吊杆等宜采用线定位。

4 工字钢、槽钢、角钢等型钢构件宜采用线定位。

4.3.4 应对传感器安装部位进行表面处理,使其表面平整。如表面有光滑致密的保护层,可予以保留,但应测量保护层对声发射信号的衰减程度。

4.3.5 传感器应通过耦合剂与被测部位相接触,耦合剂宜选用真空脂、凡士林、黄油等声耦合性能良好材料,耦合剂使用温度等级应与被测部位表面温度相匹配。

4.3.6 采用磁夹具、胶带纸或其他方式将传感器牢固固定在被测部位,并保持传感器与被测部位和固定装置的绝缘。

4.4 系统调试

4.4.1 将传感器与前置放大器和系统主机用电缆线连接,开机预热至系统稳定工作状态。测试前,应对声发射测试系统进行初步工作参数设置,包括:

- 1 门槛值。
- 2 增益参数。
- 3 定时参数,包括峰值鉴别时间,波击鉴别时间和波击锁闭时间。

4.4.2 测试前,应选用模拟源进行灵敏度测试、衰减测量、背景噪声测量和定位校准。

1 可采用声发射信号发生器作为模拟源,也可采用直径为 0.3mm、硬度为 2H 或直径为 0.5mm、硬度为 HB 的铅笔芯折断信号作为模拟源。

2 铅笔芯伸出长度宜为 2.5mm,与待测结构表面的夹角宜为 30°左右,折断位置宜距传感器中心 100mm,允许偏差为 $\pm 5\text{mm}$ 。

3 应取 3 次以上响应的平均值作为响应幅度值。

4.4.3 应在测试开始前和结束后进行通道灵敏度测试。每个通道响应的幅度值与所有通道的平均幅度值的允许偏差不应大于 $\pm 4\text{dB}$ 。

4.4.4 测试前,应进行与声发射测试条件相同的衰减测量。

1 如果已有测试条件相同的衰减特性数据,可不再进行衰减测量,但应把该衰减特性数据在本次测试记录和报告中注明。

2 结构简单的公路桥梁结构应至少选取 2 个部位进行测量,不同结构构件宜分别进行取 1 个部位进行衰减测量。

4.4.5 应对整个测试系统进行背景噪声测量,通过降低测试门槛来测量每个通道的背景噪声。

1 设定每个通道的测试门槛应大于背景噪声 6dB,测量时间应不少于 15min。

2 当背景噪声接近或大于待测结构活性缺陷产生的声发射信号强度时,应消除背景噪声的干扰,否则不宜进行声发射测试。

4.4.6 采用声发射进行损伤定位测定时，应在测试前进行定位校准。

1 采用时差定位时，模拟源在阵列的任何部位产生的弹性波应被该阵列内的传感器收到，并得到唯一定位结果。定位图位置与实际位置的偏差应不超过该阵列中传感器最大间距的 5%。

2 采用区域定位时，模拟源产生的弹性波应能被该区域内的至少 1 个传感器接收到，并得到唯一的定位结果。

4.5 数据采集与过程观察

4.5.1 测试数据应至少采集本规程 3.2.3 中规定的参数，还应符合下列规定：

1 采用时差定位时，还应采集到达时间的数据。

2 采用区域定位时，还应采集声发射信号到达各传感器次序的信息。

4.5.2 测试时应观察声发射撞击数和/或定位源随时间的变化趋势，对于声发射定位源集中出现的部位，应查看是否有外部干扰因素，发现外部干扰因素应停止加载并尽量排除干扰因素。

4.5.3 测试过程中，如发现某个通道接收到的声发射撞击数明显低于相邻通道，则应对该通道再次进行灵敏度测量；如测试过程中由于加载或其他原因暂停测试超过 1h，重新恢复测试时应对每个通道再次进行灵敏度测量。

4.5.4 测试中如遇到强噪声干扰时，应暂停测试，需在排除强噪声干扰后再进行测试。

4.6 测试数据分析

4.6.1 结构缺陷定位应参照本规程第 5 章的规定进行评定。对于需进一步确认的声发射源，应通过模拟源定位来确定声发射源的具体部位。确定方法是在被检区域上某位置发射一个模拟源，若得到的定位显示与测试数据中的声发射定位源部位显示一致，则该模拟源的位置为测试到的声发射定位源部位。

4.6.2 针对本规程 4.5.1 中采集到的声信号参数进行数据分析，声发射参数分析应以单个信号通道数据为基础。可根据分析目的在下列分析方法中选取必要分析方法进行分析：

1 声发射参数的列表显示和分析。

条文说明

声发射信号参数的列表显示和分析是指将每个特征参数按照时间序列排列和显示的分析方法,包括信号的到达时间、各声发射特征参数、声发射源坐标和外变量等。

2 经历图分析法。

条文说明

经历图分析法是通过对声发射信号参数随时间或外变量变化的情况进行分析,从而得到声发射源的活动情况和发展趋势,常见的有计数、能量、幅度、持续时间、上升时间随时间或外变量变化的经历图和累计经历图等。

3 分布分析法。

条文说明

分布分析法是将声发射信号撞击计数或事件计数按信号参数值进行统计分布分析的一种方法。纵轴代表撞击或者事件计数,横轴可选择声发射信号的任一参数,如幅度、持续时间、能量和上升时间等。

4 关联分析法。

条文说明

关联分析法通过将任意两个特征参数联系起来做关联图进行分析,关联图的两坐标轴分别表示不同声发射参数。例如,某些电子噪声干扰信号通常幅度很高,但能量却很小,通过幅度-能量关联图即可区分噪声。

4.6.3 应分离出测试过程中出现的噪声信号和非相关声发射信号,并在测试记录中注明。

4.6.4 针对不同结构和构件的安全评估,可结合实际测试条件和评价需求从下列基于声发射参数的评定指标中选取:

1 b 值指标,按式(4.6.6-1)计算。

$$\log_{10} N = a - b \left(\frac{A_{dB}}{20} \right) \quad (4.6.6-1)$$

式中: A_{dB} ——声发射撞击幅值;

N ——幅值超过 A_{dB} 的声发射撞击数;

a 、 b ——线性拟合参数。其中, b 为 b 值。

条文说明

b 值指标用于评估结构构件的损伤发展情况。较大的 b 值对应结构中微裂纹的发展，较小的 b 值对应结构中宏观裂缝的产生。研究表明，若有大量低幅值的声发射撞击出现且 $b > 1.0$ ，则认为材料内部有微裂纹形成；若有较多高幅值的声发射撞击出现且 $b < 1.0$ ，则认为材料内部有宏观裂纹形成，存在较大损伤。

2 信号强度指标(历史指数 HI 和严重度 S_r)，历史指数 HI 按式(4.6.6-2)计算。

$$HI = \frac{N}{N-K} \frac{\sum_{i=K+1}^N S_{oi}}{\sum_{i=1}^N S_{oi}} \quad (4.6.6-2)$$

式中： N ——从加载开始到 t 时刻的声发射事件数；

S_{oi} ——第 i 个声发射事件的信号强度；

K ——与 N 有关的经验常数。对于钢筋混凝土结构构件来说，经验常数 K 宜按表 4.6.4-1 的规定取值。

表 4.6.4-1 经验常数 K 的取值规定

$N \leq 50$	$51 \leq N \leq 200$	$201 \leq N \leq 500$	$N \geq 501$
$K = 0$	$K = N - 30$	$K = 0.85N$	$K = N - 75$

严重度 S_r 按式(4.6.6-3)计算。

$$S_r = \frac{1}{J} \left(\sum_m^J S_{om} \right) \quad (4.6.6-3)$$

式中： S_r ——声发射严重值；

S_{om} ——声发射信号强度值由大到小排列第 m 大的信号强度值；

J ——与构件材料有关的经验常数。对于钢筋混凝土结构构件来说，经验常数 J 宜按表 4.6.4-2 的规定取值。

表 4.6.4-2 经验常数 J 的取值规定

$N < 50$	$N \geq 51$
$J = 0$	$J = 50$

条文说明

信号强度指标用于评估结构构件的承载能力和退化的程度。其中，历史指标 HI 用于评估试件在加载过程中信号强度变化情况，严重度 S_r 表征 t 时刻 50 个最大声发射信号强度的平均值。

5 声发射定位源信号等级评定

5.1 一般规定

5.1.1 声发射定位源信号等级根据声发射定位源的活性和强度来综合评价,评价方法是先确定声发射定位源的活性等级和强度等级,然后再确定声发射定位源的综合等级。

5.1.2 综合评价的声发射定位源包括区域定位和时差法计算定位分析得到的定位结果。

5.2 声发射源区确定

5.2.1 时差定位以阵列中传感器最大间距的 10%作为直径,划定出圆形评定区域。

5.2.2 区域定位以通道覆盖实际区域划定出评定区域。

5.2.3 落在同一评定区域的声发射定位源事件视为同一源区的声发射定位源事件。

5.3 活性等级划分

5.3.1 对于连续加载且最大载荷可持续保持的加载方式,声发射定位源事件的活性等级划分应符合下列规定:

1 同一源区的事件数随着加载阶段或持载阶段呈快速增加时,则认为该部位的声发射定位源为超强活性。

2 同一源区的事件数随着加载阶段或持载阶段呈连续增加时,则认为该部位的声发射定位源为强活性。

3 同一源区的事件数随着加载阶段或持载阶段呈断续出现时,声发射定位源的活性等级划分按表 5.3-1 确定。

表 5.3-1 断续出现声发射定位源的活性等级划分

加载阶段	持载阶段	活性等级
×	×	弱活性
○	×	中活性
×	○	强活性
○	○	超强活性
注: × 无声发射源; ○ 有声发射源。		

5.3.2 对于其他加载方式，由实际加载条件参照上述方法制定活性划分原则。

5.4 强度等级划分

5.4.1 声发射定位源的强度 Q 宜用幅度参数来表示。声发射定位源的强度计算取源区前 5 个最大幅度的平均值。幅度参数应根据衰减测试结果进行修正。

5.4.2 声发射定位源的强度等级按表 5.4-2 确定。表中的 a 和 b 值应由试验来确定，包括材料和构件的破坏性试验。

表 5.4-2 声发射定位源的强度等级划分

声发射定位源的强度等级	源强度
低强度	$Q < a$
中强度	$a \leq Q \leq b$
高强度	$Q > b$
注： a —声发射定位源低强度和中强度等级划分的幅度值； b —声发射定位源中强度和高强度等级划分的幅度值。	

5.5 综合等级评定

5.5.1 声发射定位源的综合等级应根据声发射定位源的活性等级和强度等级进行综合评定。

5.5.2 声发射定位源的综合等级分为四级，其评定按表 5.5-3 确定。

表 5.5-3 声发射定位源的综合等级评定

声发射定位源的 强度等级	活性等级			
	超强活性	强活性	中活性	弱活性
高强度	IV	IV	III	II
中强度	IV	III	II	I
低强度	III	III	II	I

5.6 定位源验证

5.6.1 声发射定位源验证应符合下列规定：

- 1 I 级声发射定位源不需要验证。
- 2 II 级声发射定位源可根据实际情况和声发射定位源所处结构位置确定是否需要验证。
- 3 III 级和 IV 级声发射定位源应进行验证。

5.6.2 验证表面和近表面缺陷时，宜选择磁粉检测或渗透检测的一种进行复检。

5.6.3 验证内部缺陷时，宜选择超声检测、射线检测或衍射时差法超声波检测中的一种进行复检。

征求意见稿

6 声发射检测及结果评定

6.1 一般规定

6.1.1 根据现场情况，确定检测条件，应保证加载人员与检测人员联络通畅。

6.1.2 公路桥梁结构声发射检测前应编制检测方案。检测方案宜包括下列内容：

1 项目概况。

条文说明

检测评定前要搜集有关桥梁勘察设计、施工、监理和运营、养护、试验检测以及维修加固等方面的技术资料。调查了解桥梁病害史、使用中的特殊事件、限重限速原因、交通状况、今后改扩建计划、水文、气候、环境等方面情况，有针对性地确定检测内容和工作重点。调查的资料主要包括：

(1) 勘察设计资料，主要包括：桥位地质钻探资料及水文勘测资料、设计计算书及有关图纸、变更设计计算书及有关图纸等；

(2) 施工、监理、监控与竣工技术资料，主要包括：材料试验资料、施工记录、监理资料、施工监控资料、地基与基础试验资料、竣工图纸及其说明、交工验收资料、交工验收荷载试验报告、竣工验收有关资料等；

(3) 养护、试验检测及维修与加固资料，主要包括：桥梁检查与检测、荷载试验资料，历次桥梁维修、加固资料，历次特别事件记载资料等；

(4) 调查收集桥梁运营荷载的资料，包括交通量、交通组成、车重、轴重等情况。

2 检测目的或检测要求。

3 检测依据，包括检测所依据的标准及有关的技术资料。

4 检测时所需的加载程序与配合工作。

5 检测内容和检测位置以及测点布置。

6 检测人员和仪器设备情况。

7 检测工作进度计划。

8 检测中的安全措施和环保措施。

6.1.3 检测测点应选择侧面平整，设备可安全放置，传感器易于安装的区域，并采取保护措施。

6.1.4 现场检测的测区和测点应有明晰标注和编号,必要时标注和编号宜保留一定时间。

6.2 加载方案

6.2.1 公路桥梁声发射检测应根据检测目的和检测现场的实际条件,确定加载方案。加载程序可参照《公路桥梁荷载试验规程》(JTG/T J21-01)或相关法规标准中规定的加载方法,或者根据公路桥梁实际使用情况确定。

6.2.2 对于受风载影响较大的结构构件,如果气象条件允许,可采用自然风载荷加载方式。

6.2.3 公路桥梁结构应经其他方法检测或结构计算分析后,结构承载能力满足声发射检测所需最大施加荷载和加载速度的要求,方可进行加载。

6.3 检测方法

6.3.1 公路桥梁结构应根据被检结构形式以及检测目的,确定检测测点。公路桥梁结构声发射检测宜先采用全面声发射检测对缺陷所处区域进行确定,再采用局部声发射检测定位缺陷活性最大处位置。

条文说明

全面声发射检测传感器布置间距较远,覆盖整个桥面结构,宜采用线性定位,用以确定载荷试验下结构中声发射活性较强的区域。针对全面声发射检测得到的活性较强区域,采用局部声发射检测进一步检测,详细评定局部区域损伤产生位置和裂纹扩展方向。

6.3.2 全面声发射检测测点可参照《公路桥梁荷载试验规程》(JTG/T J21-01)中表 5.2.2 中的测试截面确定。

6.3.3 公路桥梁结构构件局部检测点宜符合下列规定:

- 1 应力变化显著或应力水平较高的构件。
- 2 变形显著的构件或节点。
- 3 承受较大施工荷载的构件或节点。
- 4 控制几何位形的关键节点。
- 5 反映结构内力及变形关键特征的其他重要受力构件或节点。
- 6 结构微裂缝已开展区域。

6.4 检测结果评定

6.4.1 基于声发射检测数据的公路桥梁结构缺陷定位应参照本规程第 5 章的相关规定。

6.4.2 声发射参数检测结果分析应参照本规程 4.6.1~4.6.6 中相关规定。

6.4.3 循环加载程序下，可通过载荷比和平静比进行公路桥梁构件安全评估。构件安全等级分为三级，评定方法应符合表 6.4.3 的规定。

表 6.4.3 基于载荷比和平静比的公路桥梁构件安全评估方法

评估条件	安全等级
载荷比 >0.9 且 平静比 <0.05	轻度损伤
载荷比 <0.9 且 平静比 <0.05 ，或载荷比 >0.9 且 平静比 >0.05	中度损伤
载荷比 <0.9 且 平静比 >0.05	严重损伤

条文说明

本条给出了基于日本无损检测学会推荐的 NDIS-2421 定量评定标准。在循环加载程序下，通过计算声发射检测信号的载荷比和平静比，进行公路桥梁构件的安全等级划分。根据现有研究成果总结建议，确定载荷比和平静比的分界线值分别为 0.9 和 0.05。

6.4.4 公路桥梁结构声发射检测数据分析结果应结合其他检测方式的复检和补充，最终形成公路桥梁结构安全的综合评价。

6.5 检测报告

6.5.1 在声发射检测结束后，应撰写公路桥梁结构检测报告，报告应包括以下内容：

- 1 项目概括，包括工程名称、结构类型、建成时间、所处环境条件及现状。
- 2 检测原因、检测目的及以往相关检测情况概述。
- 3 检测方法与依据的标准。
- 4 检测内容与检测位置。
- 5 检测项目的主要分类检测数据和汇总结果、检测结果、检测结论。
- 6 检测日期，报告完成日期。
- 7 检测、审核和批准人员的签名。
- 8 检测机构的有效印章。

6.5.2 检测报告应附有必要的原始资料、图表和照片。

征求意见稿

7 声发射监测及结果评定

7.1 一般规定

7.1.1 公路桥梁结构声发射监测前应编制监测方案。监测方案内容应满足本规程 6.1.2 的相关规定。

7.1.2 公路桥梁结构声发射监测应明确其目的和功能, 未经监测实施单位许可不得改变测点或损坏传感器、电缆、采集仪等监测设备。

7.1.3 监测前, 应对干扰信号进行来源检查, 并应采取有效措施进行处理。

7.1.4 监测应设定预警值, 预警值应满足工程设计及被监测对象的控制要求。

7.1.5 声发射监测测点选择应满足本规程 6.1.3 和 6.1.4 的相关规定。

7.1.6 监测期间, 应对监测设施采取定期巡视和维护, 应符合本规程第 8 章的有关规定。

7.1.7 监测期间, 监测测点应定期进行检查校核。

7.2 监测方法

7.2.1 监测内容应根据运营环境、结构特点、结构危险性分析、结构设计和监测功能确定。

7.2.2 监测测点选择应满足安全预警和评估要求, 遵循“代表性、实用性、经济性”的选择原则, 并符合下列规定:

- 1 宜布置在监测参数值的最大位置。
- 2 测点的位置、数量宜根据结构类型、设计要求、监测项目及结构分析结果确定。
- 3 测点的数量和布置范围应有冗余量, 重要部位应增加测点。
- 4 可利用结构的对称性, 减少测点布置数量。
- 5 宜便于监测设备的安装、测读、维护和替代。
- 6 不应妨碍监测对象的施工和正常使用。
- 7 在满足上述要求的基础上, 宜缩短信号的传输距离。

7.2.3 公路桥梁声发射监测宜采用整体响应监测和局部响应监测, 并符合下列规定:

1 当测定行车荷载、风荷载以及地震荷载作用下公路桥梁结构响应,采用整体声发射监测。

2 当测定结构构件发生振动、位移、变形和转角时的局部响应,采用局部声发射监测。

7.2.4 整体响应声发射测点布置应符合下列规定:

1 行车荷载下,声发射监测测点宜根据公路桥梁结构实际受力特性不等距布置,受力较大区域应适当增加测点布置密度。

2 风荷载下,声发射监测测点宜选择在桥面两侧、塔顶、拱顶。跨度小于800m的斜拉桥和跨度小于1500m的悬索桥宜在主梁跨中上下游两侧各布设一个测点;跨度大于或等于800m的斜拉桥和跨度大于或等于1500m的悬索桥,宜结合风场空间相关性适当增加测点数量;对风敏感的特大跨桥梁,宜根据钢箱梁绕流场特性沿钢箱梁截面周向和纵向布置。

3 地震荷载下,对于长度小于800m的桥梁,宜布设一个测点;长度不小于800m的桥梁,宜增加测点个数;对于桥岸地表区域,声发射测点宜选择护岸、锚旋锚室内、近桥址监控中心等自由场地上;对于水体区域,声发射测点宜选择人可达到的索塔和桥墩底部或承台顶部。

7.2.5 局部响应声发射测点布置应符合下列规定:

1 宜选择受力较大或影响结构整体安全的关键构件、节点、截面和部位布置测点。

2 宜选择最易破坏或局部破坏易导致结构倒塌的关键构件、节点、截面和部位布置测点。

3 宜选择受力复杂的构件、节点、截面和部位布置测点。

4 宜选择有代表性、索力较大、拉索应力变化较大的拉索布置测点。

5 宜选择易发生相对滑移,承受剪力较大的螺栓节点部位布置测点。

6 宜选择可能出现横向失稳等倾覆性破坏的独柱桥梁、弯桥、基础易发生沉降、采用压重设计等桥梁的关键支座布置测点。

7 宜选择钢箱梁正交异性钢桥面板U肋、横隔板过焊缝等易产生疲劳效应的部位布置测点。

8 宜选择有代表性的桥墩水位变动区、浪溅区的关键截面布置测点。

9 宜选择最大冲刷区域以及基础薄弱区域布置测点。

条文说明

此条主要针对公路桥梁水下构件，含盖但不限于：水流速度较大处的基础，冲刷效应较明显的基础，施工质量较差的基础，受到灾害影响的基础，受到环境侵蚀影响的基础。

7.3 监测结果评定

7.3.1 基于声发射监测数据的公路桥梁结构缺陷定位应参照本规程第 5 章的相关规定。

7.3.2 声发射监测结果分析应参照本规程 4.6.1~4.6.6 中相关规定，基于声发射参数的结构安全评定应以前期声发射监测信号分析结果作为对比参考。

7.3.3 基于声发射监测数据的公路桥梁结构安全评定结果，需经专业人员分析确认。

7.3.4 基于声发射缺陷定位和监测数据分析结果确定的索缆、吊杆等构件断丝位置和断丝数量，需经专业人员分析确认。

7.4 监测报告

7.4.1 在监测过程中，应定期撰写公路桥梁结构声发射监测报告。报告应包括桥梁及安全监测系统的基本信息、分析项目、分析方法和分析结果等。

7.4.2 监测报告应附有必要的原始资料、图表和照片。

8 声发射监测系统维护

8.1 一般规定

8.1.1 监测系统运行期间应能实现数据采集功能、数据处理和数据库管理功能、监测系统运行状态自检和报警功能。

8.1.2 数据采集功能分为集中式系统和分布式系统。

1 集中式系统可实现自动巡测、定时巡测或选测。

2 分布式系统可用应答式或自报式等方式实现自动巡视、定时巡视或选测，并能在交流电源或通讯中断条件下定时巡测并储存数据。

8.1.3 监测自动化系统在运行期，测量频次应满足监测要求；特殊情况如重车通过时，应具备自动触发功能，能完整记录并存储重车从上桥到出桥全过程的各项数据。

8.1.4 使用期间监测系统应能不间断工作，宜具备自动生成监测报表功能。

8.1.5 监测自动化系统应具备以下功能：

- 1 掉电保护功能，掉电运行时间不小于 3h。
- 2 防雷功能，防雷电感应不小于 500W。
- 3 自检自诊功能。
- 4 数据异常报警功能等。

8.2 巡视检查

8.2.1 巡视检查内容应包括监测范围内的结构和构件变形、开裂、测点布设及监测设备或结合当地经验确定的其他巡视检查内容。

8.2.2 巡视检查应符合下列规定：

- 1 巡视检查以目测为主，可辅以测量器具以及摄像、摄影等设备进行。
- 2 巡视检查的重点是确认基准点、测点的位置未改变及完好状况，确认监测设备运行正常及保护状态。
- 3 巡视检查宜由熟悉本工程情况的人员参加，并相对固定。
- 4 出现预警信号时，应加强巡视检查；当发现异常或危险情况，应及时通知相关单位。

5 巡视检查应做好记录。

8.3 设施维护

8.3.1 监测系统仪器设备、装置、线缆等应设置标识和采取必要的防护措施，避免暴雨雷击、动物侵害、人为损害等影响。对易受环境影响或安装在结构外部的仪器设备，应考虑日照、雨淋、冰冻、风沙等恶劣天气的影响，必要时应采取特殊防护措施。

8.3.2 定期检查监测设备工作与运行状况，包括接线是否牢固，电触点是否灵敏，有无断线，漏电现象，防雷设施是否正常，接地电阻是否合格，电缆有无老化损坏等；对有问题的监测设备及时修复改善，必要时应更换。

8.3.3 监测仪器、仪表应定期进行保养、率定、检定，发现问题及时校准、维修或更换。

8.3.4 监测自动化系统的部分或全部测点宜每年进行 1 次人工监测。监测站点和监测管理站房应保持各种仪器设备正常运转的工作环境条件。监测自动化系统宜配置足够的备用品备件，并及时补充。

8.3.5 工程抢险加固、扩改建或工程维修施工中，对留用监测设施，均应妥善保护，对电缆应预加特殊保护。

8.3.6 监测系统宜定期进行鉴定，掌握系统运行状况，分析监测系统存在问题，提出系统改进或处置意见。

8.3.7 应做好监测设施管理维护记录，并存档备查。

附录 A
传感器布置图

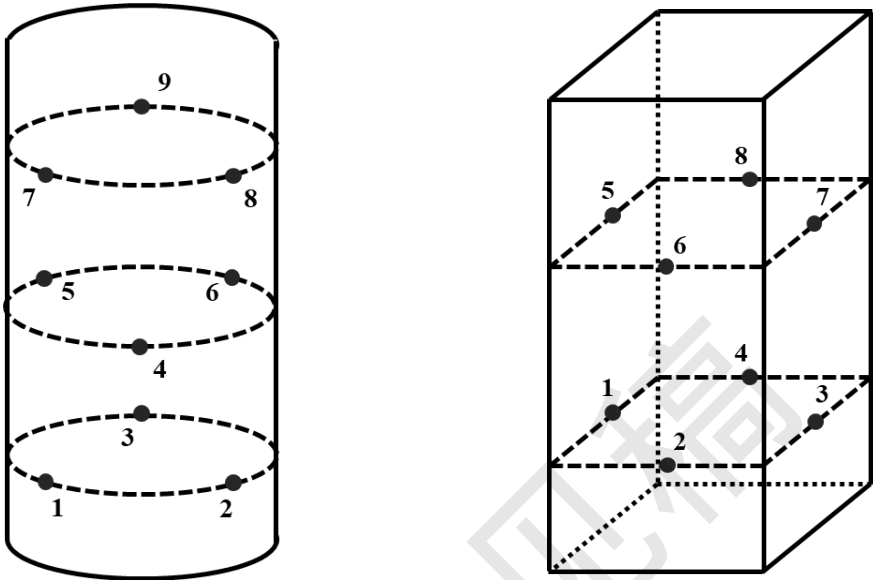


图 A.0.1 立柱、桥墩等构件采用三维定位的传感器布置示意图

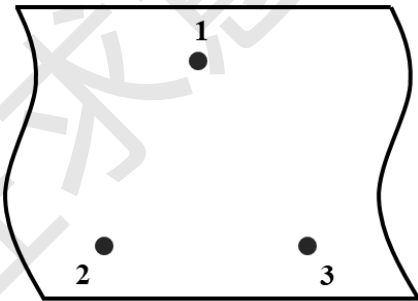


图 A.0.2 板状、局部结构采用面定位的传感器布置示意图

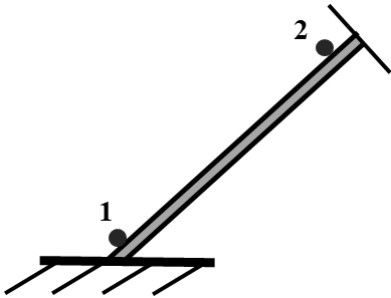


图 A.0.3 索缆、吊杆等采用线定位的传感器布置示意图

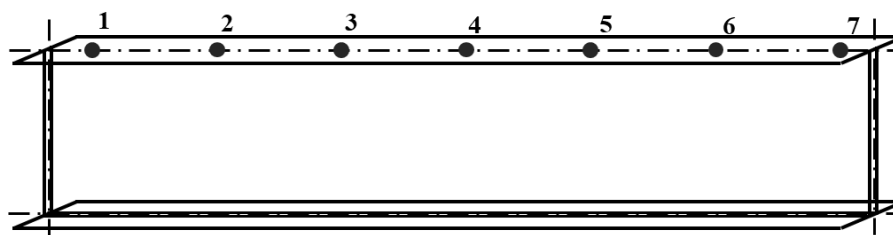


图 A.0.4 工字钢、槽钢、角钢等型钢构件采用线定位的传感器布置示意图

征求意见稿