



中华人民共和国国家标准

GB/T 43144—2023

无损检测 声发射检测 钢筋混凝土梁损伤评定的检测方法

Non-destructive testing—Acoustic emission testing—
Test method for damage qualification of reinforced concrete beams

(ISO 16837:2019, MOD)

2023-09-07 发布

2023-09-07 实施

国家市场监督管理总局 发布
国家标准化管理委员会

目 次

前言 III

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 检测系统 1

5 环境噪声 2

6 检测程序 2

7 检测报告 3

附录 A（资料性） 声发射传感器布置方法 5

附录 B（资料性） L_o 的确定方法 6

参考文献..... 8

前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件修改采用 ISO 16837:2019《无损检测 声发射检测 钢筋混凝土梁损伤评定的检测方法》。本文件与 ISO 16837:2019 的技术性差异及其原因如下：

- a) 用规范性引用的 GB/T 12604.4 替换了 ISO 12716(见第 3 章),以适应我国的技术水平,增加操作性;
- b) 将“确定传感器的安装位置应考虑衰减特性”更改为“确定传感器的安装位置及数量应考虑衰减特性”(见第 4 章),增加可操作性,便于标准的执行;
- c) 将 A_L 的说明更改为“最后一个最大载荷循环累计声发射活动数量”[见公式(2)],以明确其含义,消除歧义;
- d) 增加了传感器试验数据使用的建议(见第 6 章),提高操作性。

本文件做了下列编辑性改动：

- 将横坐标轴标题“LR”与纵坐标轴标题“CR”分别更改为“L”和“C”(见图 1),使“加载比”与“卸载比”的符号保持一致;
- 增加了附录 A(资料性)“声发射传感器布置方法”;
- 增加了附录 B(资料性)“ L_c 的确定方法”。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由全国无损检测标准化技术委员会(SAC/TC 56)提出并归口。

本文件起草单位：长沙理工大学、上海材料研究所有限公司、长沙鹏翔电子科技有限公司、深圳大学、水利部水工金属结构质量检验检测中心、东南大学。

本文件主要起草人：王磊、胡宏伟、丁杰、王向红、吕铎、蒋田勇、陈卫军、洪舒贤、李东风、丁辉、伍卫平、晏井利、马亚飞、徐晓强、戴理朝、黄可。

无损检测 声发射检测

钢筋混凝土梁损伤评定的检测方法

1 范围

本文件规定了钢筋混凝土梁损伤评定的声发射检测方法。
本文件适用于桥梁、码头和建筑用在役钢筋混凝土梁损伤评定。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 12604.4 无损检测 术语 声发射检测(GB/T 12604.4—2005,ISO 12716:2001,IDT)。

3 术语和定义

GB/T 12604.4 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

声发射活动 AE activity

在应力条件下混凝土发生声发射撞击或计数。

3.2

凯塞效应 Kaiser effect

对材料或结构施加应力、移除应力、再施加应力时，在超过先前最大载荷之前几乎不出现声发射活动（3.1）的现象。

3.3

费利西蒂比 Felicity ratio

对材料或结构施加应力、移除应力、再施加应力时，出现声发射活动时的载荷与先前最大载荷的比值。

注：费利西蒂比显示了与凯塞效应（3.2）的一致性程度。

4 检测系统

考虑声耦合，检测混凝土结构产生的声发射信号的声发射传感器应有足够的灵敏度。声发射传感器还应具有足够的鲁棒性，以抵抗温度变化、潮湿环境和机械振动的影响。声发射传感器应放置在适当的位置，以覆盖目标区域。声发射传感器布置方法见附录 A。

在检测之前，应通过使用标准声源来估计目标结构的衰减特性。确定传感器的安装位置及数量应考虑衰减特性。

放大器的内部噪声应较低，并且输入电压的峰值应小于 $20\text{ }\mu\text{V}$ (26 dB_{AE} ，当 $0\text{ dB}_{\text{AE}}=1\text{ }\mu\text{V}$ 时)。放大器还应具有足够的鲁棒性以抵抗环境影响，并有适当的防护。

基于 AE 传感器和放大器的性能,应在检测前确定频率范围。混凝土中 1 MHz 以上的高频信号易衰减,频率范围宜为 10 kHz~100 kHz。

信号分析时,应检测和处理声发射计数或声发射撞击参数。检测系统应获得与声发射数据同步的时间信息,宜记录负载、应变等外部参数,应配备足够容量的存储器记录检测数据,宜采用计算机分析记录数据。

5 环境噪声

在进行声发射检测之前,应评估噪声水平。应降低风、雨、阳光等外部噪声。如果噪声与声发射信号的频率相近,或者噪声源未知,则应在测试前评估噪声特性。在此基础上,应分离声发射信号与噪声。在确定合适的频率范围后,使用合适的滤波器。通常使用几千赫兹以上的高通滤波器,消除振动、车流等引起的机械噪声。使用 100 kHz 以上的低通滤波器消除电噪声。

6 检测程序

6.1 总则

检测周期应根据被测结构或构件的状态(可能处于在役)来制定。AE 通道的灵敏度应使用标准声源进行定期核查。通道间的灵敏度变化应小于 $\pm 3 \text{ dB}_{\text{AE}}$ 。应根据噪声水平设置低的阈值。

声发射活动根据声发射计数或撞击数进行评价。加载条件下,声发射撞击幅度连续超过阈值 5 dB_{AE} 时,可判定声发射活动开始。

6.2 钢筋混凝土梁的失效模式和声发射活动

钢筋混凝土梁存在两种失效模式。一是弯曲失效,加载弯矩作用下受弯段底部出现受拉裂缝,梁抗弯配筋不足或抗斜剪配筋充足时,轴向钢筋屈服,受拉裂缝进一步汇集,并向上扩展。随着载荷增大,弯曲失效的梁中声发射计数或撞击数加速增加。二是剪切失效,梁抗弯配筋过度或抗斜剪配筋不足时,最终失效是剪跨段在钢筋不屈服条件下突然产生斜剪切裂缝。

由于失效前钢筋一直承受载荷,声发射计数或撞击发生速率保持恒定。在即将失效时,会没有任何先兆地出现斜向剪切裂缝,声发射计数或撞击数会快速增加。在实际声发射检测中,主要关注损伤梁中的声发射活动,声发射检测宜考虑这两种失效模式。

钢筋混凝土梁中的声发射活动,裂缝口张开位移(CMOD)与凯塞效应间的关系是可知的。当弯曲失效下裂缝口张开位移大于 $0.1 \text{ mm} \sim 0.2 \text{ mm}$,或剪切失效时,凯塞效应消失。裂缝口张开位移大于 0.1 mm 时,钢筋混凝土梁达到正常使用极限。

6.3 加载比和卸载比

费利西蒂比量化声发射检测中的凯塞效应。如有凯塞效应,费利西蒂比等于 1.0。钢筋混凝土梁存在反复损伤,费利西蒂比低于 1.0。未损坏的混凝土结构是静态稳定的,具有高冗余度。凯塞效应与结构稳定性密切相关,完好结构的费利西蒂比可能大于 1.0。损伤累积使费利西蒂比低于 1.0,在比先前更低载荷下也会出现声发射活动。因此,费利西蒂比能很好地判定损伤积累和结构不稳定性。卸载过程中的声发射活动也可判定结构完整性。结构静态稳定下,卸载过程中很少出现声发射活动;结构不稳定下,卸载过程中也会出现声发射活动。

评估凯塞效应的比值定义如下:

a) 声发射活动开始时的载荷与先前载荷的比值,加载比计算见公式(1):

$$L = \frac{L_o}{L_p}$$

.....(1)

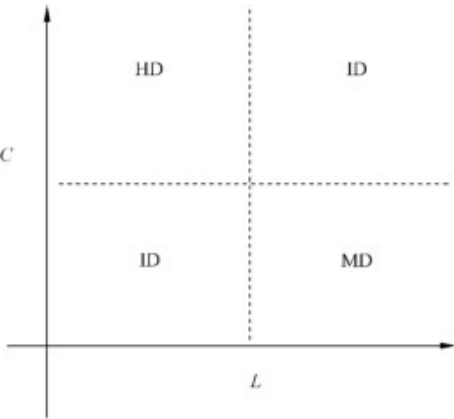
式中：
 L ——加载比；
 L_o ——随后加载中声发射活动开始时的载荷；
 L_p ——先前的载荷。
 L_o 的确定方法见附录 B。

b) 卸载过程中与最后一个最大加载循环累计声发射活动数量之比,卸载比计算见公式(2)：

$$C = \frac{A_u}{A_t}$$

.....(2)

式中：
 C ——卸载比；
 A_u ——卸载时声发射活动累计数量；
 A_t ——最后一个最大载荷循环累计声发射活动数量。
实际使用的损伤程度分类的评估方法见图 1。



标引说明：
 C ——卸载比；
 L ——加载比；
HD——严重损伤；
ID ——中度损伤；
MD——轻微损伤。

图 1 根据两个比值对损伤进行评定

该分类方法适用于递增、循环和疲劳等载荷下的声发射活动。在建立分类准则之前,应根据现场或实验室获得的试验数据,合理地确定用于损伤分类的卸载比和加载比的特定值。宜利用最靠近最大裂缝的传感器数据进行损伤评定。

7 检测报告

检测报告应包括以下内容：
a) 检测时间；
b) 检测人员；

- c) 检测仪器；
- d) 检测地点；
- e) 设置前后的系统检查结果；
- f) 设置前后的数据分析结果。

附录 A
(资料性)
声发射传感器布置方法

图 A.1 为钢筋混凝土梁的传感器布置示意图。图中“●”代表声发射传感器。

声发射传感器布置宜覆盖钢筋混凝土梁的纯弯段和弯剪段,声发射传感器数量根据钢筋混凝土梁结构及声发射信号衰减特性确定。传感器的安装部位宜远离孔洞、裂缝、起砂、起皮、蜂窝麻面等部位,可对安装面进行打磨,使其平整。采用声耦合性能良好的耦合剂,如真空脂、凡士林、黄油等材料。传感器牢固固定在钢筋混凝土梁表面,以达到良好的声耦合状态。

在检测之前,宜采用标准声源测试声发射信号在混凝土中的衰减特性,可采用断铅试验。采用直径为 0.5 mm、硬度为 2H 铅芯断铅模拟声发射信号,铅芯伸长量为 2.5 mm,与梁的表面成 30°夹角进行折断,比较各传感器接收到的信号幅值。在与传感器不同距离处进行断铅试验,采集声发射信号。为保证有效采集到开裂信号,距离源信号最远的声发射传感器所能采集到的信号幅值不低于 70 dB_{AE},以此确定声发射传感器间距。

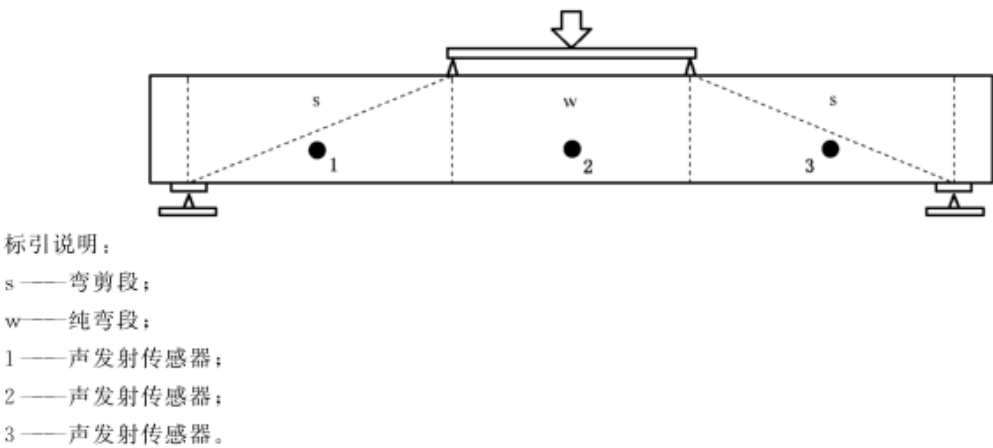


图 A.1 钢筋混凝土梁声发射传感器布置示意图

附录 B
(资料性)
 L_0 的确定方法

确定 L_0 值(即对应的 Kaiser 点)是求取加载比继而评定钢筋混凝土梁损伤的前提条件,6.1 规定的“加载条件下,声发射撞击幅度连续超过阈值 5 dB_{AE} 时,可判定声发射活动开始”,对于触发采样的声发射采集系统来说,“连续超过阈值 5 dB_{AE} ”难以准确界定。

宜采用以下方法之一获得 L_0 值,以界定声发射活动开始。

- a) 方法一,在满足 6.1“超过阈值 5 dB_{AE} ”条件的同时,利用以下两个特征作为有效声发射活动开始的判别条件:
- 1) 当载荷连续增加时声发射信号是连续的,即连续性准则;
 - 2) 在载荷增加 10% 的过程中,声发射撞击数多于 10 个,即计数增加准则。
- b) 方法二,获得声发射累计计数对数值与载荷或加载时间的关系,通过三次多项式拟合获得拟合曲线,对其求二阶导数得到拐点坐标,即声发射活动开始点,从而确定 L_0 值。
- c) 方法三,绘制声发射累计计数与载荷或加载时间的关系曲线,观察寻找曲线斜率的突变点作为声发射活动开始点,从而确定 L_0 值。
- d) 方法四,绘制声发射撞击数与载荷或加载时间的关系曲线,观察寻找曲线斜率的突变点作为声发射活动开始点,从而确定 L_0 值。

利用以上 4 种方法确定 L_0 值的示意图见图 B.1。经试验验证,通过 4 种方法确定的 L_0 值均可用于钢筋混凝土梁损伤评定。其中方法一通过使用连续性准则和计数增加准则确定 L_0 值;方法二通过函数拟合求拐点确定声发射活动开始时的载荷;方法三和方法四均通过观察寻找斜率变化判断 L_0 值,存在一定主观性,宜在具有足够经验下使用。

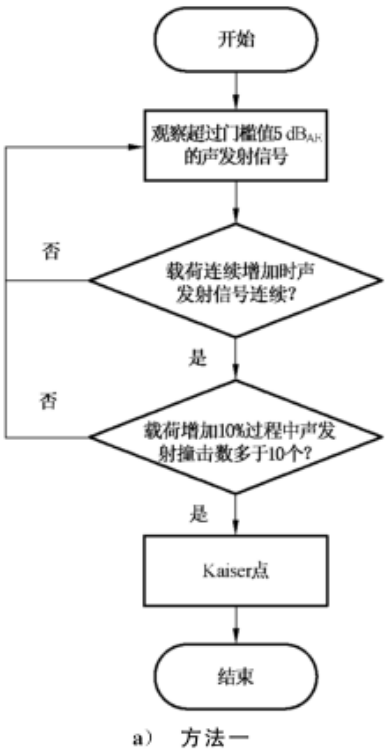
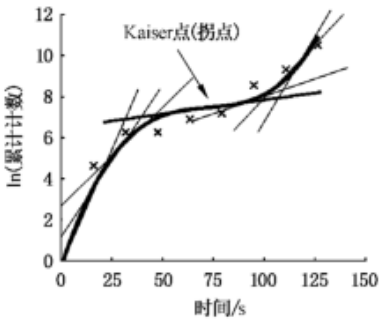
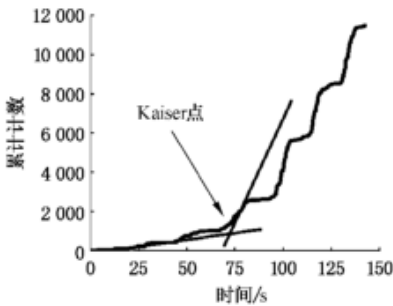


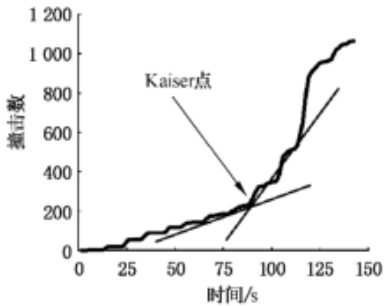
图 B.1 L_0 的确定方法



b) 方法二



c) 方法三



d) 方法四

图 B.1 L_0 的确定方法 (续)

参 考 文 献

- [1] ISO/TR 13115 Non-destructive testing—Methods for absolute calibration of acoustic emission transducers by the reciprocity technique
- [2] EN 1330-9 Non-destructive testing—Terminology—Part 9: Terms used in acoustic emission testing
- [3] EN 13554 Non-destructive testing—Acoustic emission testing—General principles
- [4] ASTM E650 Standard guide for mounting piezoelectric acoustic emission sensors
- [5] ASTM E750 Standard practice for characterizing acoustic emission instrumentation
- [6] ASTM E1316 Standard terminology for nondestructive examinations
- [7] ASNT DGZfP-SE1 Nondestructive testing; Acoustic emission terms
- [8] ASNT DGZfP-SE3 Guideline for acoustic emission characterization during acoustic emission test
- [9] EWGAE Codes for AE Examination; Code 1-Location of discrete acoustic events
- [10] EWGAE Codes for AE Examination; Code IV-Definition of Terms in AE
- [11] ISNDI NDIS 21 10 Calibration of AE sensors
- [12] JSNDI NDIS 2421 Recommendation practice for in situ monitoring of concrete structures by AE
- [13] GROSSE C U OHTSU M, eds. Acoustic emission testing. Springer, 2008
- [14] OHTSU M, UCHIDA M, OKAMOTO T, YUYAMA S. Damage Assessment of Reinforced Concrete Beams qualified by AE. ACI Struct. J, 99 (4): 411-417
- [15] Hongwei Hu, Dayu Li, Lei Wang, Rui Chen, Xiaoqiang Xu. An improved ultrasonic coda wave method for concrete behavior monitoring under various loading conditions. Ultrasonics, 2021, 116: 106498
- [16] Lei Wang, Xuhui Zhang, Jianren Zhang, Yafei Ma, Yongming Liu. Effects of stirrup and inclined bar corrosion on shear behavior of RC beams. Construction and Building Materials, 2015, 98: 537-546
- [17] 朱宏平, 徐文胜, 陈晓强, 夏勇. 利用声发射信号与速率过程理论对混凝土损伤进行定量评估. 工程力学, 2008, 25(1): 186-191
- [18] Ohtsu M, Ichinose M, Watanabe H. Damage estimation of concrete by AE rate process analysis. Journal of Acoustic Emission, 2002, 20: 1-15
- [19] Lavrov A. Kaiser effect observation in brittle rock cyclically loaded with different loading rates. Mechanics of materials, 2001, 33(11): 669-677
- [20] Tuncay E, Ulusay R. Relation between Kaiser effect levels and pre-stresses applied in the laboratory. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 2008, 45(4): 524-537

中 华 人 民 共 和 国
国 家 标 准
无损检测 声发射检测
钢筋混凝土梁损伤评定的检测方法
GB/T 43144—2023

*

中国标准出版社出版发行
北京市朝阳区和平里西街甲2号(100029)
北京市西城区三里河北街16号(100045)

网址:www.spc.net.cn

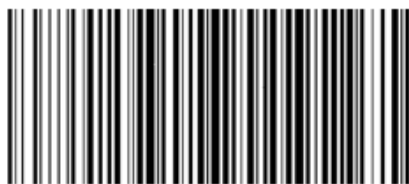
服务热线:400-168-0010

2023年9月第一版

*

书号:155066·1-73387

版权专有 侵权必究



GB/T 43144-2023



码上扫一扫 正版服务到