

ICS 27.140
P 55

SL

中华人民共和国水利行业标准

SL 751—2017

水工金属结构声发射检测技术规程

Technical code for inspection of acoustic emission
of hydraulic steel structures

2017-06-05 发布

2017-09-05 实施



中华人民共和国水利部 发布

中华人民共和国水利部

关于批准发布《水工金属结构振动时效及效果评定》
等3项水利行业标准的公告

2017年第22号

中华人民共和国水利部批准《水工金属结构振动时效及效果评定》(SL 749—2017)等3项为水利行业标准，现予以公布。

序号	标准名称	标准编号	替代标准号	发布日期	实施日期
1	水工金属结构振动时效及效果评定	SL 749—2017	SL 647—2013	2017.6.5	2017.9.5
2	水工金属结构声发射检测技术规程	SL 751—2017		2017.6.5	2017.9.5
3	水力自控翻板闸门技术规范	SL 753—2017		2017.6.5	2017.9.5

水利部

2017年6月5日

目 次

前言	V
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 一般要求	2
5 检测系统	2
6 检测程序	2
6.1 检测准备	2
6.1.1 资料要求	2
6.1.2 现场勘察	2
6.1.3 传感器布置	2
6.2 传感器安装	3
6.3 检测系统调试	3
6.3.1 调试步骤	3
6.3.2 模拟源	3
6.3.3 衰减测量	3
6.3.4 背景噪声测量	3
6.3.5 通道灵敏度测量	3
6.3.6 定位校准	3
6.4 检测	3
6.4.1 数据记录	3
6.4.2 加压程序	4
6.4.3 噪声	4
6.5 过程观察	4
6.6 检测数据分析	4
7 检测结果分级与评定	4
7.1 声发射定位源的活性等级划分	4
7.2 声发射定位源的强度等级划分	5
7.3 声发射定位源的综合等级评定	5
8 声发射定位源的验证	5
9 检测记录和报告	6
附录 A (规范性附录) 声发射检测系统性能要求	7
A.1 传感器	7
A.2 信号线	7
A.3 信号电缆	7
A.4 耦合剂	7
A.5 前置放大器	7
A.6 滤波器	7

A.7 系统主机	7
附录 B (资料性附录) 声发射传感器布置示意图	9
附录 C (资料性附录) 声发射检测报告格式	11
图 B.1 压力钢管声发射传感器布置示意图	9
图 B.2 岔管声发射传感器布置示意图	9
图 B.3 蜗壳声发射传感器布置示意图	9
图 B.4 闸门声发射传感器布置示意图	10
图 B.5 液压启闭机油缸声发射传感器布置示意图	10
表 1 断续出现声发射定位源的活性等级划分	4
表 2 声发射定位源的强度等级划分	5
表 3 Q345R 钢幅度参数声发射定位源强度等级划分	5
表 4 600MPa 级钢幅度参数声发射定位源强度等级划分	5
表 5 声发射定位源的综合等级评定	5

前 言

根据水利技术标准制修订计划安排，按照 GB/T 1.1—2009《标准化工作导则 第1部分：标准结构和编写》的要求，编制本标准。

本标准共9章和3个附录，主要技术内容有：水工金属结构产品声发射检测的一般要求、检测系统、检测程序、检测结果分级与评定、声发射定位源的验证以及检测记录和报告等。

本标准为全文推荐。

本标准批准部门：中华人民共和国水利部

本标准主持机构：水利部综合事业局

本标准解释单位：水利部综合事业局

本标准主编单位：水利部水工金属结构质量检验检测中心

本标准出版、发行单位：中国水利水电出版社

本标准主要起草人：李东风 曹树林 伍卫平 高志明 盛旭军 倪国胜 韩志刚

本标准审查会议技术负责人：刘哲军 于永亮

本标准体例格式审查人：于爱华

本标准在执行过程中，请各单位注意总结经验，积累资料，随时将有关意见和建议反馈给水利部国际合作与科技司（通信地址：北京市西城区白广路二条2号；邮政编码：100053；电话：010-63204533；电子邮箱：bzh@mwr.gov.cn），以供今后修订时参考。

水工金属结构声发射检测技术规程

1 范围

本标准规定了水工金属结构产品声发射检测方法和结果分级。

本标准适用于水利工程压力钢管、钢管管、蜗壳、钢闸门和液压启闭机等水工金属结构产品在加压试验时的声发射检测。其他水工金属结构产品的声发射检测可参照本标准执行。

2 规范性引用文件

下列文件对于本标准的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本标准。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本标准。

- GB/T 3323 金属融化焊接接头射线照相
- GB/T 9445 无损检测 人员资格鉴定与认证
- GB/T 11345 焊缝无损检测 超声检测 技术、检测等级和评定
- GB/T 12604.4 无损检测 术语 声发射检测 (GB/T 12604.4—2005, ISO 12716:2001, IDT)
- GB/T 18182 金属压力容器声发射检测及结果评价方法
- GB/T 19800 无损检测 声发射检测 换能器的一级校准 (ISO 12713:1998, IDT)
- GB/T 19801 无损检测 声发射检测 声发射传感器的二级校准 (ISO 12714:1999, IDT)
- GB/T 20737 无损检测 通用术语和定义
- DL/T 330 水电水利工程金属结构及设备焊接接头衍射时差法超声检测
- JB/T 6061 无损检测 焊缝磁粉检测
- JB/T 6062 无损检测 焊缝渗透检测
- NB/T 47013.9 承压设备无损检测 第9部分：声发射检测
- NB/T 47013.10 承压设备无损检测 第10部分：衍射时差法超声检测

3 术语和定义

GB/T 12604.4、GB/T 20737、GB/T 18182 和 NB/T 47013.9 界定的以及下列术语和定义适用于本标准。

3.1

声发射源 acoustic emission source

材料中能量快速释放而产生瞬态弹性波的物理源点或部位。

3.2

声发射定位源 acoustic emission location source

通过分析声发射数据确定的被检工件上声发射源的位置。

常见的几种源定位方法包括区域定位、计算定位和连续信号定位。

3.3

活性 activity

声发射源的事件数随加载过程或时间变化的程度。

3.4

强度 intensity

声发射源的事件所释放的平均弹性能。

3.5

活性缺陷 active defect

因载荷作用而产生瞬态弹性波释放的缺陷。

3.6

撞击 hit

超过门槛并引起一个系统通道采集数据的任何信号。

4 一般要求

4.1 水工金属结构产品应经其他无损检测方法检测合格后,方可进行加压试验。加压试验主要包括升压、保压和泄压过程,加压介质可为水或油,可采取内压、外压或重物加压的方式。

4.2 声发射检测人员应按照 GB/T 9445 的要求取得相应的声发射检测等级资格证书。

5 检测系统

5.1 声发射检测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、前置放大器、系统主机、电缆线、显示和存储等单元。

5.2 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。校准结果应满足附录 A 的要求。

5.3 声发射检测系统的软件应能实时显示和分析所采集到通道号、幅值、上升时间、能量、持续时间、振铃计数等信号数据,并具有相关的滤波、一维时差定位和二维时差定位的功能。

6 检测程序

6.1 检测准备

6.1.1 资料要求

水工金属结构声发射现场检测应具备以下资料:

- a) 产品的图样、组装和焊接等技术文件。
- b) 产品无损检测报告。
- c) 检测任务书和技术方案。

6.1.2 现场勘察

水工金属结构声发射现场检测应勘察以下内容:

- a) 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。
- b) 应确认加压程序和参数,包括升压速率、分级压力值、最高压力值和保压时间等。
- c) 应保证加压人员与检测人员联络通畅。

6.1.3 传感器布置

根据产品几何尺寸以及检测目的,确定传感器布置的阵列。压力钢管、钢管管主锥、闸门、液压启闭机油缸及蜗壳壳体宜采用二维时差定位;钢管管月牙肋部位宜采用一维时差定位和二维时差定位;蜗壳蝶形边部位宜采用一维时差定位或二维时差定位。上述水工金属结构产品的声发射传感器布置示意图见附录 B。

6.2 传感器安装

- 6.2.1 应按照确定的传感器阵列安装传感器，安装位置宜远离支座、支撑、垫板部位。
- 6.2.2 应对传感器安装位置表面进行打磨处理，使表面平整并露出金属光泽。
- 6.2.3 宜选用真空脂做耦合剂，将其涂在安装位置，用磁夹具、胶带纸或其他方式将传感器固定在安装表面。传感器应与工件表面声耦合良好，并与工件和固定装置保持绝缘。

6.3 检测系统调试

6.3.1 调试步骤

将已安装的传感器与前置放大器和系统主机用电缆线连接，对声发射检测系统进行初步工作参数设置。利用模拟源进行衰减测量、背景噪声测量、灵敏度测量和定位校准。

6.3.2 模拟源

可采用声发射信号发生器作为模拟源，也可采用直径为 0.5mm、硬度为 2H 的铅笔芯折断信号作为模拟源。铅笔芯伸出长度约为 2.5mm，与被检工件表面的夹角为 30°左右，离传感器中心 100mm±5mm 处折断。应取 3 次以上响应的平均值作为响应幅度值。

6.3.3 衰减测量

应进行与声发射检测条件相同的衰减测量。如果已有检测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检测记录和报告中注明。结构简单的水工金属结构产品可选取 1 个部位进行衰减测量；结构复杂的（如钢管、蜗壳）应选取至少 2 个结构不同的部位分别进行衰减测量。

6.3.4 背景噪声测量

应对整个检测系统进行背景噪声测量，通过降低检测门槛来测量每个通道的背景噪声。设定每个通道的检测门槛应大于背景噪声 6dB，测量时间应不少于 15min。当背景噪声接近或大于被检工件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检测。

6.3.5 通道灵敏度测量

应在检测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偏差应在 ±4dB 的范围内。

6.3.6 定位校准

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%。

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。

6.4 检测

6.4.1 数据记录

在检测过程中，应连续记录声发射信号和数据；检测人员应观察并判断声发射信号是否正常。

6.4.2 加压程序

应根据检测对象相关的标准和技术文件的要求制定加压程序，确定声发射检测最高加压试验压力和加压程序。升压速度最高不应大于0.5MPa/min。每一阶段保压时间不应小于5min。

6.4.3 噪声

加压过程中应注意下列因素产生的噪声可能影响检测结果：

- a) 介质的注入。
- b) 加压速率过高。
- c) 压力钢管或钢管内部支撑的移动或膨胀断裂。
- d) 外部机械振动。
- e) 电磁干扰。
- f) 泄漏。

检测过程中如出现高于检测门槛的干扰，应暂停检测，并如实记录。排除干扰后可再进行检测。

6.5 过程观察

6.5.1 检测时应观察声发射撞击数和（或）定位源随压力或时间的变化趋势，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，如有应停止加压，在排除干扰因素后再继续进行加压。

6.5.2 发现声发射信号异常时，在未查明原因时，应停止加压或泄压。

6.6 检测数据分析

6.6.1 通过分析采集信号的上升时间、幅度、持续时间、振铃计数和频率等参数，识别出噪声信号，并在检测记录中注明。

6.6.2 信号参数分析有疑问时，宜采用信号波形进行综合分析。

6.6.3 利用软件滤波或数据图像显示分析的方法，识别出有意义的声发射定位源，并对其进行强度和活性分析，在检测记录中注明。

6.6.4 利用模拟源确定声发射定位源在工件上的具体位置。

7 检测结果分级与评定

7.1 声发射定位源的活性等级划分

以阵列中传感器最大间距的10%长度作为直径，划定出圆形评定区域。落在同一评定区域的声发射定位源事件为同一源区的声发射定位源事件。

同一源区的事件数随着升压或保压呈快速增加时，该部位的声发射定位源为超强活性。

同一源区的事件数随着升压或保压呈连续增加时，该部位的声发射定位源为强活性。

同一源区的事件数随着升压或保压呈断续出现时，声发射定位源的活性等级划分见表1。

表1 断续出现声发射定位源的活性等级划分

升压阶段	保压阶段	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。

7.2 声发射定位源的强度等级划分

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。声发射源的强度等级划分参考表 2 进行。表 2 中的 a 和 b 值应由试验来确定，包括材料和结构件的破坏性试验。Q345R 钢（屈服强度为 345MPa 级的压力容器用低合金钢）和 600MPa 级钢（抗拉强度 600MPa 级高强钢）采用幅度参数划分声发射定位源强度的等级见表 3 和表 4。

表 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	幅度
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。

表 3 Q345R 钢幅度参数声发射定位源强度等级划分

声发射定位源的强度等级	幅度/dB
低强度	$Q < 40$
中强度	$40 \leq Q \leq 80$
高强度	$Q > 80$

注：数据是经衰减修正后的数据。传感器输出 1 μ V 为 0dB。

表 4 600MPa 级钢幅度参数声发射定位源强度等级划分

声发射定位源的强度等级	幅度/dB
低强度	$Q < 65$
中强度	$65 \leq Q \leq 80$
高强度	$Q > 80$

注：数据是经衰减修正后的数据。传感器输出 1 μ V 为 0dB。

7.3 声发射定位源的综合等级评定

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。声发射定位源的综合等级分为四级，其评定按表 5 进行。

表 5 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

8 声发射定位源的验证

I 级声发射定位源不需要验证；II 级声发射定位源可根据工件使用情况和声发射定位源所处结构位置确定是否需要验证；III 级或 IV 级声发射定位源应进行验证。内部缺陷验证时，超声波检测、射线检测或衍射时差法超声波检测可任选其一；表面缺陷验证时，磁粉检测和渗透检测可任选其一。检测

标准应执行 GB/T 11345、GB/T 3323、DL/T 330、NB/T 47013.10、JB/T 6061 和 JB/T 6062。

9 检测记录和报告

9.1 检测记录应包括下列内容：

- a) 产品名称、规格、材质、编号、制造单位、委托单位。
- b) 检测标准。
- c) 仪器型号、耦合剂、传感器型号及固定方式。
- d) 背景噪声的测定值。
- e) 传感器布置示意图。
- f) 源部位校准记录。
- g) 检测软件名称及数据文件名称。
- h) 加压程序。
- i) 检测结果。
- j) 检测日期、检测和审核人员签字。

9.2 检测报告的内容及格式见附录 C。

9.3 检测记录和报告保存期限应该相关规定执行。

附录 A
(规范性附录)
声发射检测系统性能要求

A.1 传感器

传感器的响应频率宜为 100~400kHz。表面波声场校准，传感器的灵敏度不小于 60dB；纵波声场校准，传感器的灵敏度不小于 77dB。

注：表面波声场校准相对于 $1\text{V}/(\text{m}/\text{s})$ ；纵波声场校准相对于 $1\text{V}/\mu\text{bar}$ 。

当选用其他频带范围内的传感器时，应考虑灵敏度的变化，以确保所选频带范围内有足够的接收灵敏度。应能屏蔽无线电波或电磁噪声干扰。传感器在响应频率和工作温度范围内灵敏度变化应不大于 3dB。传感器与工件表面之间应保持电绝缘。

A.2 信号线

传感器到前置放大器之间的信号电缆，长度应不超过 2m，且能够屏蔽电磁干扰。

A.3 信号电缆

前置放大器到系统主机之间的信号电缆，长度不宜超过 150m，应能屏蔽电磁干扰。信号电缆衰减损失应小于 1dB/(30m)，阻抗为 50Ω。

A.4 耦合剂

耦合剂在试验期间内应能保持良好的声耦合效果，宜选用真空脂。

A.5 前置放大器

前置放大器短路噪声有效值电压不大于 $7\mu\text{V}$ 。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超过 3dB，且应与传感器的频率响应相匹配，其增益应与系统主机的增益设置相匹配，宜为 34dB 或 40dB。前置放大器采用差分电路时，其共模噪声抑制应不低于 40dB。

A.6 滤波器

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应与传感器的频率响应相匹配。

A.7 系统主机

A.7.1 声发射系统主机应有覆盖检验区域的通道数，应能实时显示和存储声发射信号的到达时间、门阈、幅度、振铃计数、能量、上升时间、持续时间、撞击数，应具有接收和记录压力及温度等外部电信号的功能。

A.7.2 各个通道的独立采样频率应不低于传感器响应频率中心点频率的 10 倍。

A.7.3 门阈精度应控制在 $\pm 0.5\text{dB}$ 。

A.7.4 声发射信号计数测量值的精度应在 $\pm 5\%$ 。

A.7.5 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 1000 个/s 声发射撞击信号的短时处理能力。当连续监测时，声发射系统对每个通道在采集、处理、记录和显示过程中应具有处理不少于 10000 个/s 声发射撞击信号的能力。当出现大量数据以致发生堵塞情况，系统应能发出报警信号。

A.7.6 幅度测量值的精度应为 $\pm 2\text{dB}$ ，同时应满足信号不失真的动态范围不低于 65dB。

A.7.7 能量测量值的精度应为 $\pm 5\%$ 。

A. 7.8 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应不大于 $0.3\mu\text{s}$ ，精度应为 $\pm 0.3\mu\text{s}$ ，各通道之间的误差应不大于平均值的 $\pm 0.3\mu\text{s}$ 。

A. 7.9 系统测量外接参数电压值的精度应不低于满量程的 2%。

A. 7.10 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压力或时间的关联图，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应不超过 2s。

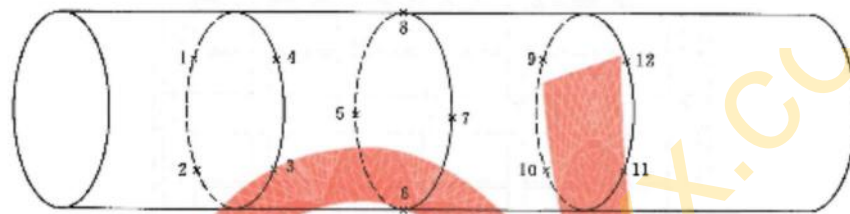
A. 7.11 声发射分析软件应能回放原始声发射检测数据，并能根据重新设定的条件对声发射检测数据进行滤波、分阶段回放、定位、关联和识别等分析处理。



附录 B
(资料性附录)
声发射传感器布置示意图

B.1 压力钢管声发射传感器布置

压力钢管声发射传感器布置示意图见图 B.1。



注：“×”表示传感器位置，数字表示声发射传感器编号。

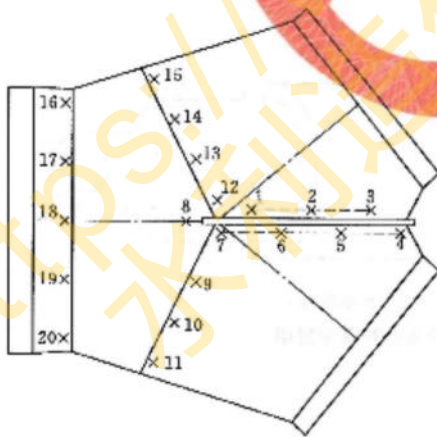
图 B.1 压力钢管声发射传感器布置示意图

B.2 岔管声发射传感器布置

岔管声发射传感器布置示意图见图 B.2。

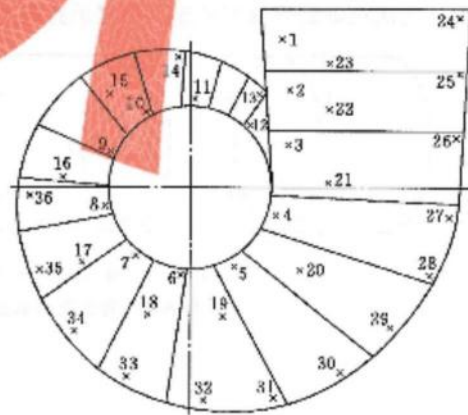
B.3 蜗壳声发射传感器布置

蜗壳声发射传感器布置示意图见图 B.3。



注：“×”表示传感器位置，数字表示声发射传感器编号。

图 B.2 岔管声发射传感器布置示意图

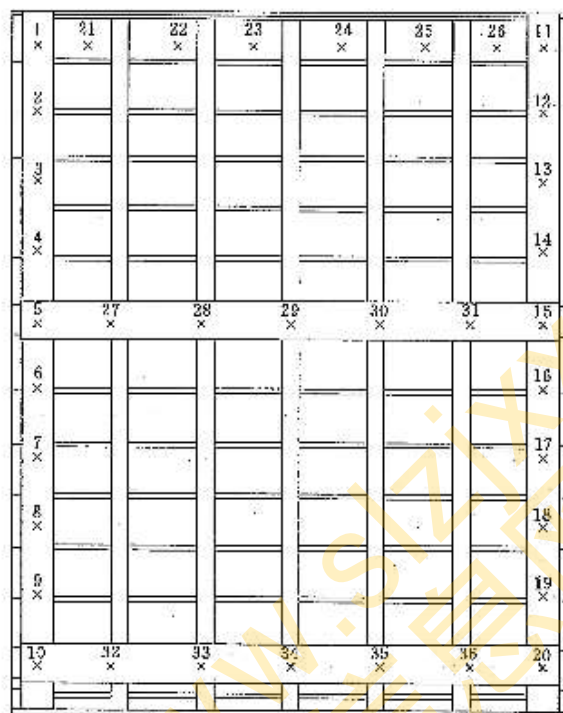


注：“×”表示传感器位置，数字表示声发射传感器编号。

图 B.3 蜗壳声发射传感器布置示意图

B.4 闸门声发射传感器布置

闸门声发射传感器布置示意图见图 B.4。

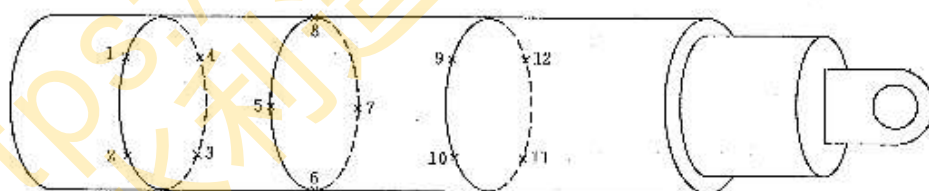


注：“x”表示传感器位置，数字表示声发射传感器编号。

图 B.4 闸门声发射传感器布置示意图

B.5 液压启闭机油缸声发射传感器布置

液压启闭机油缸声发射传感器布置示意图见图 B.5。



注：“x”表示传感器位置，数字表示声发射传感器的编号。

图 B.5 液压启闭机油缸声发射传感器布置示意图

附录 C
(资料性附录)
声发射检测报告格式

表 C.1 声发射检测报告

工程名称			委托单位		
产品名称			制造单位		
产品规格			产品编号		
产品材质			检测地点		
检测标准			检测方式		
仪器型号			通道数		
传感器型号			前置放大器型号		
耦合剂			固定方式		
背景噪声/dB			地基/dB		
模拟源类型			传感器平均灵敏度/dB	最大:	最小:
传感器灵敏度 标定	传感器编号				
	灵敏度/dB				
	:				
	:				
信号衰减记录	最大传感器距离/m			传感器编号	
	模拟源距离/m				
	幅度/dB				
传感器布置:					
加载程序图:					

表 C.1 声发射检测报告 (续)

校准阵列传感器号		
坐标值		
校准结果		
最大试验压力/MPa		
检测软件名称		
检测程序名称		
数据文件名称		
检测结果分析:		
检测结论:		
检测人: 日期:	审核人: 日期:	批准人: 日期:

水利水电技术标准咨询服务中心 简介

中国水利水电出版社标准化出版分社

中国水利水电出版社，一个创新、进取、严谨、团结的文化团队，一家把握时代脉搏、紧跟科技步伐、关注社会热点、不断满足读者需求的出版机构。作为水利部直属的中央部委专业科技出版社，成立于1956年，1993年荣膺首批“全国优秀出版社”的光荣称号。经过多年努力，现已发展成为一家以水利电力专业为基础、兼顾其他学科和门类，以纸质书刊为主、兼顾电子音像和网络出版的综合性出版单位，迄今已经出版近四万种、数亿余册（套、盘）各类出版物。

水利水电技术标准咨询服务中心（中国水利水电出版社标准化出版分社）是水利部指定的行业标准出版、发行单位，主要负责水利水电技术标准及相关出版物的出版、宣贯、推广工作，同时还负责水利水电类科技专著、工具书、文集及相关职业培训教材编辑出版工作。

感谢读者多年来对水利水电技术标准咨询服务中心的关注和垂爱，中心全体人员真诚欢迎广大水利水电科技工作者对标准、水利水电图书出版及推广工作多提意见和建议，我们将秉承“服务水电，传播科技，弘扬文化”的宗旨，为您提供全方位的图书出版咨询服务，进一步做好标准和水利水电图书出版、发行及推广工作。

主任：王德鸿 010-68545951 电子邮件：wdh@waterpub.com.cn

副主任：陈昊 010-68545981 电子邮件：hcro@waterpub.com.cn

主任助理：王启 010-68545982 电子邮件：wqi@waterpub.com.cn

责任编辑：王丹阳 010-68545974 电子邮件：wdy@waterpub.com.cn

辛思洁 010-68545995 电子邮件：zsj@waterpub.com.cn

覃薇 010-68545889 电子邮件：qwei@waterpub.com.cn

刘媛媛 010-68545948 电子邮件：lyuan@waterpub.com.cn

赵智 010-68545622 电子邮件：zz@waterpub.com.cn

传 真：010-68317913