

NB

中华人民共和国能源行业标准

NB/T 20528—2018

压水堆核电厂压力管道破前漏声发射监测

**General requirements for pressure pipes acoustic leak monitoring
in PWR power plants**

2018 - 12 - 10 发布

2019 - 04 - 01 实施

国家能源局 发布

目 次

前言	II
1 范围	1
2 术语和定义	1
3 监测系统	1
4 试验验证和校准	4
5 现场调试	4
6 泄漏监测	5
7 监测报告	6
参考文献	6

前 言

本标准按照GB/T 1.1—2009给出的规则起草。

本标准由能源行业核电标准化技术委员会提出。

本标准由核工业标准化研究所归口。

本标准起草单位：中国核动力研究设计院。

本标准主要编写人：王瑶、刘才学、何攀、杨泰波、彭翠云、初起宝。

压水堆核电厂压力管道破前漏声发射监测

1 范围

本标准规定了压水堆核电厂压力管道水、汽介质泄漏声发射连续监测的监测系统、监测程序、监测记录及数据评价等要求。

本标准适用于压水堆核电厂压力管道的泄漏监测，其他堆型和设备压力边界的泄漏监测可参照执行。

2 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

2.1

破前漏 leak before break

破前漏(简称 LBB)是指管道缺陷发展成贯穿裂纹，直至裂纹失稳的泄漏过程。

2.2

灵敏度 sensitivity

泄漏声监测系统能有效检测出的最小泄漏率。随着压力、放射性、湿度、声噪声等相关背景变化及流速的变化，灵敏度会有所不同。

2.3

泄漏率 leakage rate

单位时间内的泄漏量，单位通常用 L/min 表示。

2.4

泄漏声监测 acoustic leak monitoring

金属压力边界泄漏产生高频应力波信号，采用声发射传感器对这种信号进行探测的方法。

2.5

声发射传感器 acoustic emission sensor

可将弹性波所产生的质点运动转变成电信号的一种探测器件，通常为压电性的。

2.6

基线 baseline

为监测和诊断提供比较基准的数据和信号。

3 监测系统

3.1 概述

泄漏声监测系统通常包含声发射传感器、信号电缆、前置放大器、信号处理单元、泄漏监测、报警和自检。

3.2 声发射传感器

3.2.1 传感器选择

3.2.1.1 声发射传感器应能长期承受工作环境（即温度、湿度、振动、核辐射）和地震的作用。

3.2.1.2 声发射传感器应具有高灵敏度，传感器可以使用宽带或谐振型的，工作频段宜在高频段，以降低背景噪声干扰。

3.2.1.3 声发射传感器在工作温度范围内其灵敏度变化应不超过 3 dB。

3.2.2 传感器布置

3.2.2.1 为泄漏定位的目的，每个监测管段上布置的声发射传感器数量应不少于 3 个。

3.2.2.2 声发射传感器尽可能远离压水堆的主要噪声源。

3.2.3 传感器安装

3.2.3.1 高温、核辐射环境下应使用波导杆将声发射传感器的压电晶体和高温环境分开。

3.2.3.2 波导杆的长度应有限制，应能有效传递声发射信号，其对信号的综合传播衰减应不大于 3 dB。

3.2.3.3 压力管道的测点处应预焊安装座，宜将波导杆直接焊于压力管道的安装座上。

3.2.3.4 应将声发射传感器感应面紧压在波导杆上，并采用耦合介质减少信号衰减。声发射传感器与波导杆一体封装是避免信号衰减的有效方式。

3.3 信号电缆

3.3.1 声发射传感器电缆宜使用耐高温、耐辐射、抗电磁干扰、衰减量低的低噪声同轴电缆。

3.3.2 连接声发射传感器和前置放大器的信号电缆对声发射传感器输出衰减不超过 3 dB。

3.3.3 前置放大器至信号处理单元的模拟信号幅度衰减应不超过 3 dB。

3.4 前置放大器

3.4.1 前置放大器应适应反应堆厂房环境温度、辐射和电磁干扰环境。

3.4.2 短路噪声有效值电压应不大于 10 μ V。

3.4.3 频率响应范围与声发射传感器的频率响应范围相匹配，且内部噪声尽量最小化。

3.4.4 探测同一管段的前置放大器增益偏差应不大于 10%。

3.5 信号处理单元

信号处理应包括信号调理、信号采集和数据处理等。

3.5.1 信号调理

信号调理应满足以下要求：

- a) 具有信号二级放大和带通滤波功能；
- b) 前置放大和调理放大两级放大倍数至少达到 80 dB；
- c) 放大倍数连续或分档调节；
- d) 带通滤波范围与声发射传感器工作频段一致，频带外信号抑制比不低于 40 dB；
- e) 信号调理输出应隔离前置放大器直流电源的直流分量，并有短路保护功能，其输出电压范围应适应信号采集的动态范围。

3.5.2 信号采集

信号采集应满足以下要求：

- a) 模/数转换不少于 16 位；
- b) 采样频率不低于信号频带上限频率的 5 倍；
- c) 具备连续采和触发采集的方式。

3.5.3 数据处理

数据处理应满足以下要求：

- a) 将监测数据转换为传感器响应的物理量或与物理量对应的数据信息；
- b) 对各通道采样数据进行实时处理；

- c) 对各通道采样数据进行定期存储;
- d) 显示监测通道的噪声水平;
- e) 对通道信号水平做趋势分析;
- f) 判断到某管段发生泄漏时,对该管道通道的采样数据进行定时存储;对发生泄漏的管段和监测结果数据进行存储;
- g) 泄漏时,显示泄漏管段的泄漏信息、泄漏位置和泄漏率;
- h) 泄漏信息和数据可查询;
- i) 具有泄漏管段数据分析功能,以备事后分析。

3.6 泄漏监测

- 3.6.1 泄漏监测范围应覆盖微泄漏到管道裂纹失稳对应泄漏率的范围。
- 3.6.2 当探测到泄漏特征信号时,给出泄漏信息的鉴别时间不超过 3 min。
- 3.6.3 泄漏率达到泄漏报警阈值(如 3.8 L/min)时,给出泄漏位置和泄漏率。
- 3.6.4 泄漏定位与泄漏率计算的延迟时间不超过 10 min。
- 3.6.5 泄漏定位位置与实际位置的距离差与泄漏位置相邻的两只传感器距离的相对误差不超过 50%。
- 3.6.6 监测的泄漏率与实际泄漏率的相对误差不超过 1 倍。

3.7 报警

报警应满足以下要求:

- a) 系统一旦监测到泄漏时,应显示泄漏信息;
- b) 泄漏率等于或大于报警阈值时,除显示泄漏信息、泄漏位置和泄漏率外,应及时发出泄漏报警信号;
- c) 当系统出现故障时,显示故障信息,发出故障报警信号。

3.8 自检

自检应满足以下要求:

- a) 应配备传感器现场检测仪,以检测传感器的灵敏度和电气性能;
- b) 监测系统宜具备自我诊断功能,以对包含传感器在内的系统性能进行自动检测,判断通道或单元故障;
- c) 对故障通道应采取硬件隔离或软件屏蔽方式处理,避免产生监测错误或泄漏误报警,一个管段只有两个通道正常情况下,该管段应保持泄漏监测功能。

4 试验验证和校准

4.1 传感器校准

在传感器使用前,应对其灵敏度、频响特性、电气性能和温度响应特性进行校准;在传感器使用中,应对其响应进行校验。

4.2 监测系统检验

- 4.2.1 监测系统的信号调理、信号采集、数据处理、泄漏监测、报警、自检的功能及性能都应通过检验。
- 4.2.2 对首次开发的监测系统,应通过泄漏模拟试验对泄漏监测功能和性能进行验证。
- 4.2.3 对首次开发的监测系统,应对其温湿度、电磁辐射、核辐射、地震等进行验证。

4.3 泄漏定位定量模型参数标定

4.3.1 应搭建压力管道泄漏试验台架,模拟压力管道材料、尺寸和实际运行工况(介质、温度、压力),开展泄漏监测范围的泄漏模拟试验,获得管道泄漏定位定量模型标定参数。

4.3.2 为确保泄漏定位定量模型的适用性,试验泄漏率范围应至少覆盖泄漏监测范围,试验泄漏位置与传感器布局应至少覆盖监测对象。

4.3.3 应记录最大泄漏率下的信号水平及系统的放大倍数。

5 现场调试

5.1 一般要求

5.1.1 系统现场安装之后,应对监测系统的电气性能和各项功能进行测试以确保其正常有效地运行。

5.1.2 监测系统应在机组冷态试验开始前安装调试完毕,具有泄漏监测能力。

5.2 调试内容

利用测试仪表,对系统进行下列测试:

- a) 测试传感器的绝缘性能和激励响应;
- b) 测试自传感器输出端至信号处理单元的线路连通情况;
- c) 在距声发射传感器 5mm~10mm 的位置产生模拟声发射信号不少于 3 次,测试监测系统每个通道的信号响应,要求每个管段上各通道响应的信号有效值偏差不大于 3 dB;对信号幅度偏差超过 3 dB 的通道应做更换;
- d) 利用信号发生器,产生监测系统动态范围内的信号,测试监测系统放大自检、显示、数据存储、报警等功能和性能;
- e) 产生模拟声发射信号,测试管段上每个传感器的响应幅度,根据信号源与传感器间的距离,标定声发射信号在管道上传播的衰减系数;
- f) 利用传感器现场检测仪,在管段表面不同位置处产生模拟声发射源信号,检测监测系统的泄漏定位精度;
- g) 测试引起背景噪声变化的噪声源及其信号特征(如泵的启动、阀门动作、设备摩擦、流体紊流或涡流、升降温等)。

5.3 基线建立

在机组首次和换料启动达到满功率运行状态后三天内,应按下列方法建立基线:

- a) 在机组达到满功率运行状态后三天内,应测试各通道的背景噪声水平,作为通道噪声水平基准值;
- b) 将背景噪声水平与试验获得的最大泄漏率下的信号水平进行比较,设置系统运行期间的信号放大倍数,避免正常运行情况下背景噪声幅度过低和泄漏情况下发生信号过载;
- c) 设置好信号放大倍数、泄漏鉴别时间、泄漏报警时间、数据存储时间、系统自检时间、衰减系数和其他软件算法参数。在系统运行期间,以上参数一般不做更改;
- d) 应将引起背景噪声变化的噪声源及其信号特征做出标记。

5.4 检修

机组换料检修期间,应对系统进行下列检修:

- a) 对系统的故障部件进行维修或更换;
- b) 对声发射传感器、自传感器输出端至信号处理单元的线路连通情况、前置放大器、背景噪声进行检测,具体检测内容见 5.2。

6 泄漏监测

6.1 泄漏监测内容

泄漏监测一般包括以下内容：

- a) 机组运行状态下，应连续监测；
- b) 对监测系统实施在线或人工定期自检；
- c) 查阅各通道信号水平趋势及分析变化原因；
- d) 对失效通道应实施隔离或软件屏蔽；
- e) 应定期观察背景噪声变化，若背景噪声发生明显变化，宜重新设置基准值；
- f) 对引起监测系统发生泄漏误识别或误报警的背景噪声信号，应对其进行细化分析结合机组运行日志查找原因；
- g) 系统监测到微泄漏时，应密切跟踪泄漏信号幅度的变化趋势；
- h) 系统监测到泄漏报警时，应根据泄漏定位结果分析泄漏原因、密切跟踪泄漏率变化趋势，进行泄漏评估，制定机组运行、停堆和检修策略。

6.2 监测记录

6.2.1 系统投入运行前应记录以下内容：

- a) 压力管道的材料、尺寸；
- b) 传感器安装位置、型号、规格参数、检测数据和校准报告；
- c) 前置放大器型号、规格参数及检测数据；
- d) 信号调理、采集参数。

6.2.2 系统投入运行后应记录以下内容：

- a) 连续或定期记录各个通道的背景噪声；
- b) 运行中异常情况及处理记录；
- c) 应定期备份系统存储的监测数据并整理。

7 监测报告

监测报告至少应包括以下内容：

- a) 发生泄漏的时间和管段；
- b) 传感器的安装位置、型号和规格参数；
- c) 前置放大器的放大倍数；
- d) 信号处理单元的硬件参数和软件算法参数；
- e) 典型的泄漏信号的波形，泄漏位置和泄漏率的大小；
- f) 泄漏信号的波形和频谱分析结果；
- g) 泄漏的确认和处置建议。

参 考 文 献

- [1] GB/T 26644—2011 无损检测 声发射检测 总则
 - [2] GJB 6187—2008 声发射检测
 - [3] ASTM E650 固定压电声发射探头的标准导则
 - [4] ASTM E750 测量声发射仪器特征的操作
 - [5] ASTM E976 确定声发射响应重复性的原则
 - [6] ASTM E1139—02 金属压力壳体声发射连续监测标准操作方法
-

中 华 人 民 共 和 国
能 源 行 业 标 准
压水堆核电厂压力管道破前漏声
发射监测

NB/T 20528—2018

*

核工业标准化研究所出版发行

北京海淀区骚子营1号院

邮政编码：100091

电 话：010-62863505

原子能出版社印刷

版权专有 不得翻印

*

2019年4月第1版 2019年4月第1次印刷

印数 1—50

定价 21.00 元