ICS
点击此处添加中国标准文献分类号

团　　体　　标　　准

T/CNEA XXXX—XXXX

核电厂管道振动测试规程 第1部分：核级管道

Code for vibration testing of pipes in nuclear power plants-Part 1:Non-nuclear grade pipes

（征求意见稿）

（本稿完成日期：2021.10.26）

XXXX - XX - XX 发布　　XXXX - XX - XX 实施

中国核能行业协会　　发布

目 次

前言 II
引言 III
1 范围 1
2 规范性引用文件 1
3 术语和定义 1
4 试验流程 2
4.1 确定工作范围 2
4.2 试验前要求 2
4.3 测点布置 3
4.4 测量工况 4
4.5 现场试验 4
4.6 测量方法 4
4.7 振动评估 5
附录 A（规范性附录） 测试设备指南 6
附录 B（资料性附录） 振动测试系统要求 8
附录 C（资料性附录） 核电厂非核级管道振动测试与评估方法 9
附录 D（资料性附录） 振动速度评估方法 11
附录 E（资料性附录） 振动位移评估 12
附录 F（资料性附录） 应变测试 16
附录 G（资料性附录） 振动测点布置 17
附录 H（资料性附录） 小支管筛选流程 19

前　言

本文件按照GB/T 1.1—2020的规定起草。

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。

本文件由中国核能行业协会提出并归口，技术支持单位为上海核工程研究设计院有限公司、核工业标准化研究所、苏州热工研究院有限公司。

本文件起草单位：海南核电有限公司、西安热工研究院有限公司、中国核动力研究设计院、苏州热工研究院有限公司、中核武汉核电运行技术股份有限公司。

本文件主要起草人：于景志、赵博、何超、袁少波、张恒、陈旭东、林磊、徐德城、蒋庆磊、张梦阳、鲍宇、朱建斌、汤利专、陈卫峰、张军、刘建光、徐伟祖。

本文件为首次发布。

引　言

RCC-M（《压水堆核岛机械设备设计和建造规则》）B3620、C3620规定，对管道及支撑进行设计时，应使其振动减到最小限度，并对管道系统的启动或初始运行状态进行观测，确保管道振动保持在可接受的范围内。目前国内核级管道振动测量工作参照ASME OM-2017 Part3 《管道系统振动测试》和NB/T 20242-2013 《核电厂管道系统振动试验》执行，该标准制定了管道振动测量评估准则，但并没有给出振动试验案例或具体的试验步骤。因此各电厂在调试期间针对核级振动测试与评估工作方法不一，往往是根据其他以往经验制定检查策略，缺乏统一指导。容易造成多余的工作或者普查不够全面。基于此考虑，在总结各电厂调试期间核级管道振动测量工作基础上，编制一套具备可实施性、指导性的标准是很有意义的。本标准主要技术内容包括：本标准主要规定核电厂预运行和初始起动时管道振动测试工作的流程及要求，包括试验范围、试验要求、试验文件、试验条件与控制、验收准则、测量仪器、试验报告、评估准则。

核电厂管道振动测试规程 第1部分：核级管道

1 范围

本标准规定了核电厂预运行、初始起动时管道振动测试与评估方法。
本标准有限的适用于运行阶段管道振动测量工作。

2 规范性引用文件

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

a) ASME OM-2017 Part3 管道系统振动测试（Vibration Testing of Piping Systems）

b) ASME BPVC-III 核设施部件建造规则（Rules for Construction of Nuclear Facility Components）

c) ASME B31.1 动力管道（Power Piping）

d) NB/T 20242-2013 核电厂管道系统振动试验

3 术语和定义

下列术语及定义适用于本标准。

小支管 Small Branch Piping: 外径不大于60.3mm的管道，如机械、仪表小管等。

第一类小支管 First Small Branch Piping:带集中质量的悬臂梁结构小支管。

第二类小支管 Second Small Branch Piping:除第一类小支管之外的其他小支管。

非敏感小支管 Non Sensitive Small Branch Piping:目视检查或简化评估方法判定振动合格的小支管。

潜在敏感小支管 Potential Sensitive Small Branch Piping:简化评估方法判定振动不合格的小支管。

敏感小支管 Sensitive Small Branch Piping:应力评估方法判定振动不合格的小支管。

预运行试验 Preoperational Testing:首次装料前进行的试验活动。

初始启动试验 Initial Start-Up Testing:装料及装料后，在商业运行前进行的试验活动，包括装料、临界前试验、首次临界试验、低功率试验及升功率试验。

运行试验 Operational Testing :初始启动试验后进行的试验，即核电厂商业运行时进行的试验。

稳态振动 Steady-State Vibrations:核电厂正常运行期间相对较长时间的重复振动。

瞬态振动 Transient Vibrations:在相对较短时间内发生的振动，如泵启动和切换，阀门的动作等。

振动测试系统 Vibration Monitoring System:用于测试和记录振动数据的所有仪表或测试设备组成的系统。

质保: 为提供项目或设施使用时足够可信度所必须的有计划、有系统的活动。

试验工况:试验时系统经受的工况。

4 试验流程

核电厂预运行、初始起动时管道振动测试工作根据管径分为主管道振动、小支管振动。主管道振动测量包括反应堆冷却剂系统管道以及除反应堆冷却剂系统管道外的其它核级管道，也就是安全相关及核辅助相关系统主管道，如化学容积控制、安全注入、安全壳喷淋等管道。小支管振动测量范围是核反应堆厂房及辅助厂房中安全相关系统外径小于2英寸的管道。

基于运行因素考虑，对反应堆冷却剂系统管道应仔细评审，考虑到安全因素，还应对核电厂专设安全设施、一回路主要辅助系统以及放射性废物处理系统管道进行振动评价。各系统需进行振动评价的管系应包括核1、2、3级管系和损坏能使抗震Ⅰ类设备功能降低到不可接受水平的高能管系以及电厂实际发现的过量振动管系。

4.1 确定工作范围

4.1.1 主管道振动测试范围

由于各系统管系庞大、结构复杂、功能各异，因此不可能对其一一进行振动鉴定，在最大限度满足安全要求的前提下，主要基于以下原则对管道进行筛选：

- ASME 规范的 1、2 和 3 级管系；
- 在抗震Ⅰ类结构内部的其它高能管系；
- 损坏能使抗震Ⅰ类设备功能降低到不可接受水平的高能管系；
- 位于安全壳外的中能管系中的抗震一类部分。

在对某一系统进行管道振动评价时应按照以上原则梳理出相应管道，并予以重点关注。

4.1.2 小支管振动测试范围

根据法国压水堆核电厂系统设计和建造规则（RCC-P）的规定，反应堆冷却剂系统上连接的一些核辅助系统在规定工况有密封屏蔽作用，专设安全设施系统在事故工况下必须能保证反应堆堆芯的冷却。因此小支管振动测试范围为一回路、专设安全设施、核辅助设施的外径不大于 2 英寸的小支管，小支管类型为仪表管、排放管、通气管等，小支管清单制定原则为小支管是否靠近振动源（泵、调节阀、流量孔板等）、小支管支承是否合理、主管道振动是否超标。

4.2 试验前要求

试验前，应对设备及支撑结构进行检查，检验其是否按照图纸、技术要求及有关规范标准进行正确安装。

应拆除测点位置处的保温层；

高温管道应提前安装振动传感器；

应提供振动试验大纲及振动试验规程；

试验报告应包含以下内容：试验目的、质量计划、被测系统的描述及测点布置、试验工况、测量参数及测量方法、所用仪器（包括仪器的技术规格书）、数据分析处理、测量误差分析、结果及分析评价、

不符合项的处理建议。

4.3 测点布置

管道振动测量开始前，根据设计文件和现场管道的实际布置情况绘制管线单线立体图。

管道振动归因于其受动载荷的激励，一般由机械振动和管内流体脉动压力引起，其中后者是管道振动的主要原因。机械振动与系统中机器或泵的振动有关，而管内流体脉动压力原因则更复杂，管道弯头、变径管、三通等都会引起压力脉动。

表 1　管道振动机理及关键设备

动载荷种类	振动机理	对应关键设备
基础或机械振动	基础振动	支吊架
	机械振源传至管道	泵或设备
管内介质波动	流体空穴	节流孔板、液压泵入口
	液压冲击	液压机运动部件
	水锤	液压机运动部件
	弯头流体冲击	弯头
	流速过快	管径、压力
	两相流	换热器

ASME OM-2017 Part3 《管道系统振动测试》指出泵、阀和热交换器等敏感设备的振动会影响其可运行性和结构性能，故应仔细评审。基于此，主管道振动测点时应充分考虑关键设备进出口两端管线。

选定关键设备后，应根据管道三维制作图及支架制作图选取振动测点。振动测点应选在管道最大位移点，通常该点也是最大速度点。可以根据管系应力分析、同类型系统的振动响应或试验经验来预测测点位置，以保证测点位置能反映被测系统特有的运行特征。考虑到施工过程中三维制作图和支架制作图可能存在变更，为更加合理地布置测点，还须考虑测点位置是否可达，要对测点进行现场核实。

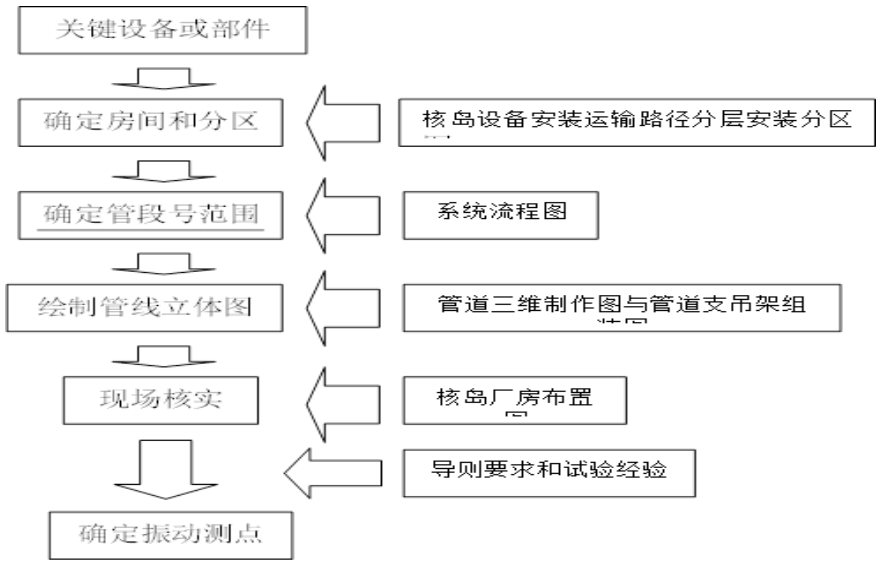

图 1 测点绘制过程

小支管振动测点选取参考附录 G，应测量三个正交方向振动参数，振动测点一般布置在振动最大位置。传感器应牢固安装，可根据管道振动特性或材质选择适用的安装方式。传感器及安装附件不应对管道振动特性造成明显影响。

4.4 测量工况

参照 ASME OM-2017 Part3 《管道系统振动测试》，对管道稳态振动和瞬态振动测量各分成 3 个组进行监测。管道稳态振动和瞬态振动测量的验收准则有所差异，但鉴定程序基本一致。振动测量可与相应系统调试同步进行，在典型的试验工况或流量下进行振动测量，同时尽可能测量稀有工况或稀有流量下的振动。

对于反应堆冷却剂系统，应采用更全面的测量方式，对主管道、波动管、喷雾及排放管各个运行工况下的振动进行评价。建议在热态功能试验期间进行测量，试验工况包括主泵启停、系统升温升压及降温降压的不同温度平台、喷雾阀及安全阀动作等。

表 2 管道系统瞬态工况

管道系统名称	工况
反应堆冷却剂管道系统	反应堆冷却剂主泵正常启动和停泵 流量控制系统切换
主蒸汽管道系统	汽轮机旁通系统动作 主蒸汽隔离阀关闭 汽轮机截止阀关闭 安全阀、泄压阀或安全泄压阀动作 大气释放阀动作
稳压器管道	安全阀、泄压阀或安全泄压阀动作
给水和冷凝系统	给水泵、冷凝和冷凝增加泵以及给水加热器排水泵启停 对手动和自动阀门操作的系统反应 给水控制系统切换
其他核 2/3 及管道和 B31 泵水系统、应急堆芯冷却系统、厂用水和应急冷却水系统	系统的正常启听或转入其他运行状态

4.5 现场试验

ASME OM-S/G-2000 Part 3 对管道稳态振动和瞬态振动测量各分成三个监测组，这两种类型的验收准则有所差异，但鉴定程序基本一致。

振动测量可与相应系统调试同步进行，在典型的试验工况或流量下进行振动测量，同时尽可能测量稀有工况或稀有流量下的振动。此外在现场试验中，不同流量往往会走不同的管道，因此试验开始前试验负责人需熟知系统的运行方式。管道振动测量需要在管道流量稳定工况下进行，核电厂调试期间交叉进行的试验较多，因此测量现场需要与工艺组有可靠的联系渠道，方便测量人员快捷获知流量信息，准确开展测量工作。

4.6 测量方法

可以采用目视检查、简化测量、应力测量等方法测量管段振动水平。

目视检查是最基础的检查方法，该方法不要求得到精确的振动结果，允许用目视、感观（如触摸）、简易测量工具来确定管道振动的可接受性，其目的是用来确定振动水平明显可接受的管道。

- 目视检查时需重点关注以下因素：
- 管道最大振幅、管道振动频率；
- 管道在系统中的位置，如靠近泵、热交换器、孔板等；
- 管道安装与设计的符合性，如支架功能是否符合设计要求、管线布置与图纸是否一致等；

- 管道外观检查，如焊接接头表面形貌、介质泄漏等。

若目视检查记录的稳态或瞬态振动水平可接受，则不需要对管道做进一步的测量和评定。对于目视检查无法确定振动水平是否可接受的管道，应采用附录 C、D、E 进行。

管道振动响应的测量参数一般可以选择速度、加速度、位移或应变。

振动测试设备应具有足够的量程、精度和频率响应范围，测量时间应足够长，以保证测量结果的可靠性。测试设备的选择可参考附录 A，测试系统应满足附录 B 的要求。

4.7 振动评估

4.7.1 评估方法

管道振动评估分为简化评估方法与应力评估方法。简化评估方法采用速度、加速度、位移进行振动评估，评估不合格时应进一步进行振动应力评估或振动治理。主管道振动评估推荐使用振动速度评估。第一类小支管推荐使用加速度评估，第二类小支管推荐使用速度评估。也可根据自身需要选择其他评估方式。评估方法参考附录 D/E/F。

4.7.2 注意事项

- 局部排气和疏水阀一般有一到两个集中质量的隔离阀，如果隔离阀无支撑，则这个区域的振动应予以注意；
- 较小的主管振动可能引起支管较大的振动，这些支管的振动与鉴定系统一起评审；
- 在多泵运行时，组合运行可能会产生最大振动，这些组合应与鉴定的系统一定评审；
- 泵、阀门和热交换器等敏感设备的振动会影响其功能，可运行性和结构性能，应仔细评审；
- 焊接区域应专门考虑，如由于焊接附件结构引起的管道局部振动，则应考虑局部应力的影响。

附录 A
（资料性附录）
测试设备指南

B.1 传感器

B.1.1 加速度传感器

压电加速度传感器耐高温、耐久性好、可靠性高、标定容易及性能稳定，固有的低噪声、动态范围宽且线性好、质量轻、测量简易。也可使用具有良好低频响应特性的伺服加速度传感器，其具有输出信号高和频响低至直流的优点。加速度传感器以下特性对于管道测量是特别重要的：

a) 传感器输出随温度的变化关系。如果从室温到运行温度的输出信号变化超过 10%时，应该根据制造商手册中的数据进行温度修正；

b) 传感器输出与频率的变化关系。这种变化取决于加速度传感器的类型、采用的安装技术及以它的输出信号是传入电荷放大器或是电压放大器等因素有关。输出频率的变化每十年可能高达 3%。如果变化超过测量频段的 10%，应使用制造商的数据表进行修正；

c) 使用的最高温度。任何情况下不能超过制造商所规定的最高使用温度，如有必要，可安装隔热垫降低加速度传感器的温度。

加速度传感器的特性，比如频率响应和相关电路应与测量目标相匹配。应使用合适的量程和带通滤波器帮助分析者获取所需要的数据。在电站管道测量应用中，加速度测量的两个固有缺点带来的困难是：低电平、高阻抗输出和较差的低频信噪比（S/N），尤其是两次积分得到位移。

B.1.2 速度传感器

速度传感器是直接测量速度的传感器，他们通常由移动的线圈或移动的磁铁组成，输出电压与动圈移动切割磁力线的速度成正比，因此得到速度。这种电动式传感器的主要优点是具有高电平和低输出阻抗，因此信号不受电磁噪声的干扰。主要缺点是它们的体积大和线性带宽范围窄。在得出位移指标时低频背景噪声干扰限制了其用途，因为积分会放大低频噪音。

B.1.3 位移传感器

适用于直接测量管道振动的位移传感器如电涡流探头、线性可变差动探头（LVDT）、手持式振动测量仪等。它的主要优点是所测的绝对位移都是基于一个固定基准，因此在零频率（DC）下具有一致的频率响应和信噪比（S/N）曲线。此外，还具有输出信号高，可抗噪音干扰的优点。

B.1.4 专用传感器

对于特殊振动量的测量，可采用专用测试仪器。如激光测振仪等。

B.1.5 应变计

对于需要进行应力评定的管道系统，可采用应变计进行测量。管道应力测量可使用焊接型或粘贴型应变计。管道温度较高或环境有辐射性时可使用焊接型应变计。使用应变计测量时应注意常会遇到的问题，尤其是静态应变测量。如温度补偿、粘贴稳定性、仪器稳定性以及湿度、辐射和高温环境等问题，应使用新的技术以解决这些潜在的问题。

B.2 电缆

因为电缆噪声会干扰传感器的振动信号，在传感器和信号调理器之间应使用低噪音电缆，这种电缆

应能适合预期的环境温度特性。如果使用电缆接头，应该采取措施避免潮湿露水浸入这些接头里，因为一般来说，传感器和信号调理器之间的长电缆（>30 m）在工作中可能会产生高噪音或信号衰减。可使用远程前置放大器（或远程电荷转换）来避免这些问题。应仔细了解传感器和电缆生产厂家提供的文件数据。

B.3 信号调理器

B.3.1 一般要求

信号调理器对所选择的传感器应该有合适的电特性。对于加速度传感器的信号调理器，应包含由加速度信号通过积分电路得到速度和位移的功能。增益归一化对加速度计输出比例系数的直接结合是其一个重要特征，因为这样可设计出可显示绝对速度和位移的组件。

B.3.2 频率范围

0-300 Hz 的频率范围可覆盖绝大部分的管道振动频率。

B.3.3 振动量程范围

振动测量系统应该能测量从 0.254 mm/s 到 2540 mm/s 的速度，以及 0.00254 mm 到 254 mm 的位移。

B.3.4 滤波

应具有低通、高通和带通滤波功能，以消除超低频信号和高频噪声信号

B.4 振动测量仪

传感器输出的信号经过信号调理器变换、放大、滤波等处理后，由振动测量仪将结果记录并显示出来。振动测量仪是以计算机为基础的，带有 A/D 转换数采前端，安装有振动信号采集和分析处理软件的仪器。振动测量仪宜具有实时显示信号波形和频谱、存储信号、回放信号并进行统计分析和频谱分析等功能。便携式振动测量仪将信号调理器和计算机、数采前端、测量分析软件集成在一起，便于核电厂现场复杂环境的应用。

附录 B
（规范性附录）
振动测试系统要求

C.1 典型的振动测试系统

本附录提供管道振动测试系统应满足的最低要求。附录 C 给出了典型振动测试系统的指南和注意事项。在测试过程中，参照附录 B 选择适当的传感器、电缆、信号调理器和测量仪组成振动测试系统。由于振动测试技术不断发展，本附录不提供具体方法或技术，但不管采用何种方法采集数据，都应确保采集到的数据的准确性、可重复性。

C.2 一般要求

振动测试系统技术要求应写成书面文件，可包括在测试程序或测试说明书中。振动测试系统技术要求至少应包含如下内容：

a) 功能描述；

b) 设备清单（生产商，型号，产品系列号）；

c) 设备检定记录，具体要求见 C.3；

d) 设备使用说明书，包括使用的单位和满量程范围，测量误差应小于 5%，测量量程范围应大于所测变量最大值的 20%，有效测量频率范围应涵盖 300 Hz 以内的一般管道振动频率范围。

C.3 检定

振动测试系统中所有测量设备应具备国家授权的法定计量部门出具的有效检定文件。

C.4 重复性

应证明振动测试系统具备前后一致性测量的能力，可通过在预调装置和标准试验台对几个平稳变量的连续测量来实现，连续测量的结果应符合振动测试系统规定的最小精度要求。重复性验证也可与振动测试系统检定同时进行。

附录 C
（规范性附录）
振动速度评估方法

5.1.1 速度评估

管道振动频率不低于5 Hz时，推荐使用振动速度有效值12 mm/s作为筛选值。若测量所得振动速度有效值V_{rms}大于12 mm/s，应按如下方法计算允许振动速度有效值，进行振动评估。管道振动频率低于5 Hz时，振动评估方法参考附录E。

a） 第一类管道评估

第一类管道的允许振动速度有效值 V_{allow}（mm/s）按以下公式计算：

$$V_{allow}=K\sqrt{\frac{b^2t}{\alpha Em}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots（1）$$

$$\alpha=\frac{3\left(1-\nu^2\right)}{2\pi}\left|\lg\left(\frac{b}{R}\right)\right| \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots（2）$$

式中各计算参数如下：

1. t ——主管道壁厚，mm；
2. R ——主管道平均半径，R=（D_{ext}-t）/2，D_{ext}为主管道外径，mm；
3. b ——管座外半径，包括焊缝，mm；
4. ν ——泊松系数；
5. E ——弹性模量，MPa；
6. m ——阀门质量，kg；
7. K ——K=S_a / 7，MPa；
8. S_a ——对应于 10^{11} 次循环的最大允许交变应力，对于不锈钢 S_a =93.7MPa；对于碳钢 S_a =48MPa。

b） 第二类管道评估

9. 第二类管道的允许振动速度有效值 V_{allow}（mm/s）按以下公式计算：

$$V_{allow}=13.42\times\frac{S_a}{C_2K_2}\times\frac{C_1C_4}{C_0C_3} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots（3）$$

式中各计算参数描述如下：

10. S_a ——对应于 10^{11} 次循环的最大允许交变应力，对于不锈钢 S_a =93.7MPa；对于碳钢 S_a =48MPa；
11. C_0 ——计算振动速度有效值的转换因子，取 C_0=3.5；
12. C_1 ——补偿特征管段上集中质量影响的修正系数，取值见图 3；

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：https://d.book118.com/888135002064006125