

汽水管道振动诊断分析方法

近几年来，广大的管道系统用户及业主提出了大量的管道振动评价与治理要求，这些要求归纳为两种：一种是诊断评价现存的振动问题是否需要治理的诊断要求；另一种是解决管道系统所存在的振动问题的治理要求。因此，开展管道系统振动的测试评价与治理研究，有着广泛的实际需要。

1 研究目标

研究的对象是电站汽水管道系统，主要研究电站汽水管道系统的振动进行诊断治理。在此基础上，制定管道系统振动分级标准及评价准则。本项研究有三个层次的目标：1 通过对若干火电厂中存在振动的汽水管道进行振动测试及原因分析，找出管道振动原因并致力具体的振动问题。2 积累汽水管道振动诊断与治理经验，针对不同原因引起的振动，研究指导性的诊断与治理方法。3 制定管道系统振动分级标准及评判依据，为管道系统的工艺、布置和支吊架设计提供参考依据。

2 振动的危害与成因

2.1 振动的危害

振动是工业管道运行中的一种多发现象，振动的存在不仅会降低管道和设备的使用寿命、危机管道和设备的使用安全性，而且振动产生的噪声对工作人员会损害身心健康，对周围环境造成污染。管道系统的振动可能是管道系统的约束（支吊架）松动失效，振动产生的往复惯性力可能导致管道局部发生疲劳破坏，导致泄漏甚至断裂，且对设备产生循环作用的附加推力，会造成设备的损坏，影响正常的生产。

2.2 振动的成因

管道系统振动的成因十分复杂，主要的诱因可能是来自系统中设备的外部动力，也可能是管道输送的介质流动产生的复杂作用力。系统对这些激励的影响程度，收到系统的设计取值、安装布置及实际运行工况等多方面影响，系统中设备的形式、管道的尺寸与走向的布置情况、管道系统支撑与约束的状况、实际运行状态与设计状态的偏差等，都可能是构成系统振动的原因。通常情况下分析管道系统振动的原因，主要从以下三个方面考虑：

2.2.1 机械系统的动力平衡性。与管道系统相连的转动设备（比如汽轮机组、泵等）的平衡力过大，将引起设备本身的振动，如果基础设施设计不当，转机的振动将通过基础或其他设施传递给管道，牵连管道振动。

2.2.2 管道内部流体流动状况。管道系统不合理情况（比如弯头过多、频繁改变走向）以及管件（不如阀门、孔板）对流体的作用，使截至流场突然改变，会导致管道振动：当流体在管道中流动时，若流速过大并超过某一允许流速时，也可能引起管道振动。所以在管道的设计规定中，一般都会根据管道输送的流体种类、应用场合、管道种类等因素限制管道内流体的允许流速：管道内两相流及“水锤”也是管道系统振动的主要原因之一。

2.2.3 管道流体的脉动压力。管道内的流体输送主要通过压缩机或泵加压进行，这种加压方式是周期性的，因此有可能引起管道内实际的压力在平均压力的上下波动，即形成了所谓的“脉动压力”。这种“脉动压力”作用于管道系统。会引起管道系统的振动，如果系统的约束不够牢固或减震性能不好，系统的振动会逐渐加剧。

3 管道系统振动评价技术

3.1 技术路线

采用测试分析与技术分析相结合的综合评价技术对管道系统振动状况进行评价，可以比较准确的找出主要的振动原因，并且通过在计算模型上调整系统的设计、布置条件，找到相应的治理措施。通过测试可以直接获得系统振动的模态特征参数，比如主要的

振动频率、振动速度、加速度及振动位移幅度；通过建立数学模型进行有限元计算，可以计算振动模态并进行应力分析。实施步骤如下：①通过科学测量获取振动特征参数；②通过有限元计算求出系统振动模态参数；③比对测试与计算结果，运用振动理论分析找出振动的原因；④采取针对性的措施消除或减小振因；⑤利用测试结果进行分析计算，评价管理系统运行可靠性与使用寿命。

3.2 测试方法

3.2.1 振动测试一般采用压电式的单向或三向低频传感器采集振动信号。具体采集的振动数据包括振动（加速度、速度、位移）总值，振动（加速度、速度、位移）FFT 频谱信号，振动（加速度、速度、位移）时域信号。通过上述的测量能够准确的反应管道的瞬时的振动信号和一定时间段内的振动特征频率和相应的幅值。

3.2.2 通过振动分析仪对现场管道的测试方法及要求如下

- 1、通过现场勘察确定管道测量位置和测点数量
- 2、每个测点具体测量任务
- 3、测点数据的采集
- 4、测点数据后期处理分析

3.2.3 设备选择及数据采集处理

推荐厂家北京飞创信科科技有限公司的德国原装进口振动分析仪 VIBXPART II

此设备在国内与多家电科院、热工院合作应用，符合现场的技术要求和环境要求。

设备具体特点

- 1、VIBXPART II 振动分析仪可以连接单向传感器和三向传感器进行现场测试。
- 2、管道振动测试对传感器的要求，频率范围 0.5HZ---1KHZ 之内需要中国计量院出具计量证书
- 3、管道距离长需要采集测点多，而且每个测点需要采集三个方向的振动。每个方向的测点需要采集的振动任务也很多，为了方便数据的采集，要求仪器具有路径版的软件。准备工作在 PC 上编辑好所有测点的测量任务并上传到振动分析仪，直接到达现场按照编辑好的测量任务采集就可以。采集完成后直接把数据回传到 PC 进行后期数据处理分析。

3.3 有限元计算分析

振动模态的计算是利用专业软件建立模型，通过有限元计算求出系统振动模态参数。根据设计资料及现场实际情况，建立系统力学模型并赋予实际的边界条件，计算系统动态应力应变分布情况、振动模态、固有频率等，以确定其主要的振因以及是否存在共振等，确定治理的方案。

为提高结果的精度与可靠性，在模型的建立阶段要充分考虑实际的安装与运行情况，根据需要划分有限元单元，边界条件的赋予尽可能如实准确。

将测试结果与计算结果进行比对，相互验证的同时，进一步确定振动原因。

4 原因分析方法

对管道系统振动原因的分析，实际上是已知系统响应反求激励的过程，要根据观察到的现象及振动测试的结果，用一系列的分析找出振源及促成与加剧振动的因素。需要综合考虑多方面的因素与可能，由表及里逐个排查，直至聚焦在主要原因或根本原因上。分析要根据测试与计算的结果，结合现场查看的情况及设计计算的验证，综合考虑运行、安装、及设计等方面因素的影响。

首先从运行状况着手，检查系统运行工况是否稳定，是否稳定在设计参数下运行，通过检查运行记录了解系统运行参数的波动情况。同时要了解系统中阀门的动作情况，考虑阀门的开度变化对流动状况的影响

现场查看与目视检查也是非常重要的诊断措施，通过看、听、摸了解振动特点，检查系统的支吊架状况，有无欠载与过载情况，判断约束是否充分适当，检查设备基础及减震功能件是否牢固完好，检查系统布置是否符合原设计，逐个识别显见的影响因素。

当需要从设计方面找原因时，要检查系统设计布置，是否有过多的弯头，验算管内的流速，是否超过计算规范规定的范围。

5 振动治理思路

5.1.1 现场察看初步诊断。目视检查，了解振动症状及现场测试条件，确定测试方案。

5.1.2 现场测试及原因分析。现场测试采集数据，结合设计、安装及运行资料进行原因分析。

5.1.3 有限元计算。必要时，进行系统有限元计算，计算振动模态、分析系统应力和位移情况，与现场测试结果进行比较分析。

5.1.4 评价，对系统运行可靠性与使用寿命作出评价。

5.1.5 制定振动治理并实施验证。根据要求提出治理措施。

5.2 治理思路

5.2.1 消振，对能消除的原因进行根治。比如流速过高引起的振动，可以通过扩大管径降低流速的办法。

5.2.2 减振，对不能消除的原因引起的振动只能用简洁措施来改善情况。比如动力不平衡引起的振动、孔板引起的振动只能通过增加约束或分解振动能力（改变伸缩节位置）等办法。

5.2.3 避振，对有共振现象的振动，通过改变固有频率避免共振。可以改变系统的刚性，也可以改变系统的质量，是系统的固有频率劈开外部激励频率。

6 管道系统振动状况评价准则

6.1 国内标准

在管道系统振动测试与评价中可提供参考的标准西安热工院起草的电力行业标准 DL / T 292—201 1 火力发电厂汽水管道振动控制导则，该标准规定了火电厂在运行及启动过程中管道系统的振动测试要求，也可作为运行电站管道系统的振动等级评价导则。

DL / T 292—201 1 标准将管道系统的振动分成稳定与瞬间 2 类，根据系统特征及所需要的测试诊断手段，将每一类振动化成不同的组别，每一类振动分别划分为 3 种不同测试要求的组别。实际应用时，对系统进行组别划分本身也就是在对系统进行初步的诊断与分析，对测试设备的性能指标及测试技术要求，该标准都做了具体的技术要求和说明。

关于管道系统的评价方法，针对稳态振动，标准规定可以用位移或速度法，但每种方法各有不同的适用条件，所以使用时要具体分析。使用位移法要将系统划分为子系统或是特征系统，分段测试。速度法中的速度限制使用的是峰值速度，使用速度法是由许多修正系数要选择，要获得精确可靠的结果。需要对系统进行分析 and 查看。同时速度法的使用还受到测量频率与一阶固有频率比值的限制。

对瞬态振动，需要进行动态分析，将测得的响应与分析获得的响应进行比较来评价。无论是稳态振动还是瞬态振动，需要进行管道系统振动应力的精确评价时，要采用模态响应技术和应力测量技术对管道系统的振动进行精确验证。

关于管道系统的验收准则，对稳态振动，使用计算交变应力强度，对瞬态振动，确定最好计算交变应力之前，要估出等效最大振动符合的周期。

6.2 建立管道系统振动状况评价准则建议

研究和解决管道系统振动问题，首先要做的是振动的诊断与评价，评价要有依据或准则。国内在管道系统振动领域开展的工作，基本上是针对具体问题进行分析与治理。有些设计院完成的振动分析项目，大多是从系统应力计算角度进行，而一些应用单位完成的振动治理项目，只是局部测试和改造，还没有提到系统的研究、寻找规律、建立评价准则的高度。要建立评价准则，需要系统地开展研究，要有规范的诊断评价方法。

7 结语

由于管道系统振动的原因十分复杂，影响因素众多，对管道系统振动原因的分析要比对设备或建筑物的振动分析困难得多。要从复杂的原因成分中找出主要原因，单一的使用测试手段或计算分析是不充分的，需要从测试和计算两方面入手，将 2 种途径得到的结果进行比对，互相验证，运用测试计算相结合的综合评价技术，才能从复杂的原因成分中找出起主要作用的原因。通过振动测试，了解系统振动频率及能量分布，通过频谱分析，从复杂的振动频谱中找出主要的频率成分确认振动原因。根据计算资料，结合现场安装以及实际运行情况，建立数学模型，进行有限元计算，求出系统的振动模态及应力分布情况。将测得的振动响应结果相比较，就可以对系统的振动作出较精确的评价。