

ISO/CD 13373-1

机器的状态监测和故障诊断—机器的振动监测

(讨论稿)

第一部分：机器的振动状态监测程序

目录

前言

序言

1.范围

2.标准参考

3.振动状态监测

3.1 振动状态监测系统的类型

3.1.1 永久的系统

3.1.2 半永久的系统

3.1.3 便携式监测系统

3.1.4 连续的状态监测

3.1.5 定期的状态监测

3.2 数据采集

4.测量

4.1 测量的类型

4.1.1 传感器的定位

4.1.2 典型机器的传感器的定位

4.1.3 传感器的定向和识别

4.1.4 非旋转结构上的测量

4.1.5 旋转轴的测量

4.1.5.1 轴相对于轴承座的相对运动

4.1.5.2 轴的绝对运动

4.1.6 扭转振动

4.1.7 信号调节系统

4.2 测量的量

4.2.1 幅值范围

4.2.2 频率范围

4.2.3 相位

5. 振动传感器

5.1 振动传感器类型

5.2 振动传感器的选择

5.2.1 振动加速度计

5.2.1.1 典型的应用范围

5.2.1.2 使用特性

5.2.2 振动速度传感器

5.2.2.1 典型的应用范围

5.2.2.2 使用特性

5.2.3 轴位移传感器

5.2.3.1 电涡流式位移传感器的工作原理

5.2.3.2 典型的应用范围

5.2.3.3 使用特性

5.3 振动传感器的固定

5.3.1 概述

5.3.2 振动传感器固定的影响

6. 数据格式

6.1 基线测量

6.1.1 概述

6.1.2 宽带振动

6.2 振动趋势

6.2.1 宽带振动趋势

6.2.1.1 情况 1：机器的振动幅值处于 “ 正常范围 ” 内(图 11 中 A 区域或 B 区域)

6.2.1.2 情况 2：当前振动幅值处于 “ 报警区域 ” 内(图 12 中 C 区域)

6.2.2 在升速或降速过程中的振动

6.2.3 瞬变振动的趋势

6.3 离散频率振动

6.3.1 概述

6.3.2 频谱分量振动趋势

7. 数据分析和通讯

附录 A

附录 B 振动传感器的定向和识别的约定(MIMOSA VB-001)

B.1 前言

B.2 零部件

B.3 轴承座位置

B3.1 卧式工艺处理和透平机器(透平，电动机，泵，风机，压缩机，相关的变速齿轮箱等)

B3.2 立式机器

B4 振动传感器的类型

B5 角向定位

B5.1 卧式机器

B5.2 立式机器

B6 振动传感器(敏感)轴线的定向

B7 运动方向

附录 C 潜在的激振源

C.1 横向振动

C.2 扭转振动

参考文献目录

ISO/CD 13373-1

机器的状态监测和诊断----机器的振动监测----第一部分：机器的 振动状态监测程序

前言

ISO(国际标准化组织)是国家标准体(ISO 成员体)的世界联盟。通常通过 ISO 技术委员会完成准备国际标准工作。对已建立的某技术委员会的某项目感兴趣的每个成员体都具有在该委员会中的代表权。国际组织，政府的和非政府的组织，与 ISO 建立联系也可以承担工作。ISO 与 IEC(国际电气委员会)在电气标准的所有方面联系密切。

根据 ISO/IEC 命令第三部分给出的准则起草国际标准。

技术委员会收到的国际标准草案在成员体内流通供投票用。作为国际标准发表则至少需经百分之七十五的成员体投票通过才行。

ISO/TC108 机械振动和冲击技术委员会，SC2 适用于机器，车辆和结构的机械振动和冲击的测量和评定小组准备了国际标准 ISO13373-1。

ISO13373 在机器的状态监测和诊断----机器的振动监测总标题下，由如下部分组成：

第一部分：机器的振动状态监测程序

第二部分：机器的振动状态监测的数据处理和分析程序

第三部分：关于机器的振动状态监测的信息交换的数据通讯格式和方法

第四部分：表示和显示机器的振动状态监测所用的数据的格式

附录 A 至 C 都只是信息。

ISO/TC108 还在研究机器诊断的新的一系列的标准。这些标准主要是为机器“健康”的总量监测，包括诸如振动，滑油纯度，热像等因素的监测指南。ISO13373 包括振动状态监测领域。

绪言

机器的振动状态监测的主要目的是提供机器预防维修和预测维修用的机器运行状态信息。这个过程就是评定机器在整个运行期间机器的振动状态。为了建立将可精确，可靠地评定机器的状态的不变的验收准则，所以测量的数据应该是重复的，并且不管何时，何处或者由谁测量，都应该是可比较的，因此，希望振动状态监测的程序标准化。与限于诊断或验收目的所用的振动试验相比，状态监测包括数据采集，它可以在整个时间范围内都可以比较，强调振动特性的变化，而不是其本身的具体特性。

以下诸因素典型地可以引起振动特性的变化：

- ←动平衡的变化
- ↑对中的变化
- 滑动轴承或滚动轴承磨损或损坏
- ↓齿轮缺陷
- °关键零部件裂纹
- ±运行瞬变
- ”流体机器内流体流动的紊流
- ≥电动机的瞬变激励
- ×摩擦

振动状态监测可以提供作如下目的的信息：

- ←加强设备的保护
- ↑改善人员的安全性
- 改善维修过程
- ↓早期检测故障
- °避免永久性破坏
- ±延长设备寿命
- ”加强运行

作状态监测用的振动测量可以从非常简单到非常复杂的形式，包括连续测量或者定期测量。然而，它们都共享精确，可靠地评定机器状态的共同目标。本标准中推荐的仪器和程序将有助于达到这个目标。

本标准提供机器振动状态监测的测量和数据采集功能的指南。它趋向于加强测量过程和实践的一致性，通常集中于旋转机器。

本标准中所述的测量方法反映了当前利用地震式和非接触式传感器常用的测量方法。然而，应该了解评定机器的振动状态的其它方法在发展，例如，激光法和电机电流分析法。这次虽然未包括在内，本标准不排除使用这些测量方法。

机器的状态监测和诊断----机器的振动监测----第一部分：机器的振动状态监测程序

1.范围

本标准建立了获得和评定供机器状态监测程序用的振动数据的程序。

因为状态监测方法的多样性，本标准的建议具体针对将在本标准的附录部分可以看到的某种具体的类型的监测程序。ISO13373 标准的这一部分是基础文件，它介绍了总的特征的建议，包括如下方面：

测量方法
测量参数
振动传感器的选择
振动传感器的定位
振动传感器的固定
数据采集
机器运行状态
振动监测系统
信号调节系统
与数据处理系统的接口
连续监测
定期监测

用在轴承或者轴承座结构上的振动测量和/或用机器旋转件的振动测量可以监测机器的振动状态。此外，测量可以是连续的或者不连续的。本标准将提供连续方式和不连续方式的推荐的测量类型的指南。

应该强调的是本标准仅论述机器的振动状态监测程序。许多情况下，机器的完整的状态监测和诊断，还可能包括其它参数，例如热像，油分析，铁谱，工艺过程变量，温度，压力等。在其它的 ISO 标准中将包括这些非振动参数。

本标准包括旋转机器。然而，所包括的许多程序可能同样适用于其它类型的机器，例如往复式机器。

2.标准参考

本标准文本中的参考标准文件中所包含的标准条款与 ISO13373 标准的这部分的标准条款相一致。对于注明日期的参考标准，对这些公布的任何标准的随后的修改或转换都不适用。然而，根据 ISO13373 的这一部分一致的部分被接纳来研究应用如下指出的标准文件的最新版的可能性。对于未注明日期的参考标准，最新版的标准文件适用。ISO 和 IEC 成员保持当前有效的国际标准的注册。

ISO5348 机械振动和冲击 加速度计的机械固定
ISO7919(所有部分) 非往复式机器的机械振动 旋转轴的测量和评定准则
ISO10816(所有部分) 机械振动 用非旋转件上的测量评定机器振动
ISO13373-2 机器的状态监测和诊断 机器的振动监测 第二部分 机器的振动状态监测的数据表示和分析程序
ISO13373-3 机器的状态监测和诊断 机器的振动监测 第三部分 与机器的振动状态监测有关的信息交换的数据通讯格式和方法
ISO13373-4 机器的状态监测和诊断 机器的振动监测 第四部分 表示和显示机器的振动状态监测所用的数据的格式

3.振动状态监测

进行振动监测，建立机器在持续运行过程中的“状态”。根据机器的类型，必需选择监测的关键零部件，一个或几个测量参数以及合适的监测系统。这样的程序的目的是在机器内部零部件明显地降低设备的运行或者影响机器的寿命或者完全损坏的某些故障之前，识别机器的“不健康”状态，有足够的时间采取补救措施，因而建立一个(经济有效)高效的维修计划。

3.1 节中说明了若干类型的状态监测系统，因而可根据机器，机器的状态和其它因素，选择这些系统之一或组合。

3.1 状态监测系统的类型

状态监测系统可取许多形式。它们可以采用永久安装的，半永久安装的或者便携式测量设备。可以连续地或者定期地采集数据，可以按出现事件，也可以按时间间隔进行数据分析。

究竟采用连续监测还是定期监测的系统，取决于许多因素，例如：

- ← 机器运行的关键性
- ↑ 机器停机的损失
- 灾难性破坏的损失费用
- ↓ 例如核电厂或者其它遥远处修理或维修的可接近性
- ° 监测系统的费用

3.1.1 永久安装的系统

这种类型系统中的振动传感器，信号调节器，数据处理以及数据储存设备都是永久安装的。可以连续，也可以定期采集数据。永久安装的系统的应用通常限于昂贵的和关键的机器。图 1 表示一种典型的永久安装的在线系统。

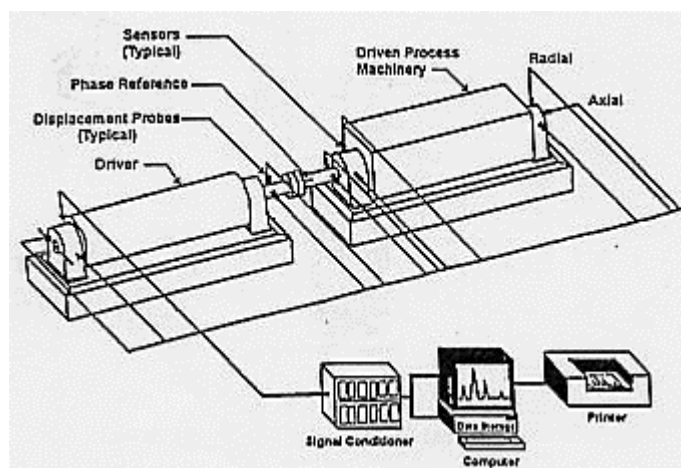


图 1. 典型的永久安装的在线振动状态监测系统

3.1.2 半永久的系统

半永久的系统介于永久和便携式系统两者之间的系统。在这种类型的系统中，通常振动传感器是永久安装的，而电子数据采集部件则是间隙地连接的。

3.1.3 便携式监测系统

便携式监测系统执行类似于“连续”在线系统的功能，但是，它不复杂且便宜。在这种布局下，可以用便携式数据采集器自动地或者人工定期采集数据。图 2 中表示这种类型的系统。

更常见的是采用便携式监测系统在预先选定的机器上的位置处，以定期的时间间隔(每周，每月等)人工采集数据。在现场可把数据输入并储存在便携式数据采集器中。可以立即初步用光标分析数据，然而，更深入的处理和分析数据，需要依靠合适的计算机软件把数据从数据采集器中传输到计算机中再进行。

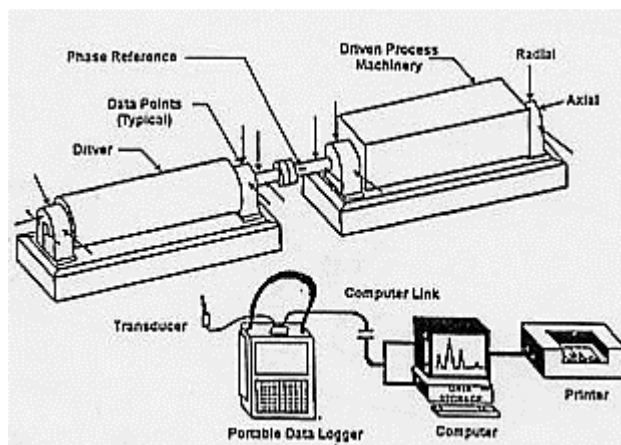


图 2 典型的便携式监测系统

3.1.4 连续的状态监测

连续的监测系统就是振动传感器永久地安装在机器的关键位置(如图 1 所示)，通常在机器运行过程中连续地测量并储存振动数据。可以处理数据提供机器的宽带信息或频谱信息，并且可以与以前采集的数据进行比较。通过对储存的数据设定“报警限”，可以给操作人员提供机器振动变化信息(振动幅值增大或减小)，因而提出需进行振动诊断的建议。

连续监测系统可以安装在机器的现场，直接供机器操作人员使用，也可以安装在远离机器的地方，数据传输到中央数据分析中心。“连续”系统的明显的优点是可获得在线机器的状态信息。

在自动系统中，与连续监测系统一起以同样的方式把振动传感器永久地安装在机器上。该系统编程可自动测量数据和储存数据。为了确定是否存在“报警”状态，最新数据与以前储存的数据进行比较。

如果考虑到如下因素，可能证明连续监测系统的费用是有理的：

← 机器运行多么关键？

↑ 机器功能的中断是危险的或极其费钱的？

→ 机器是否在维修或修理时易达(即，是否是核电或遥远处的自动设备)？

↓ 是否预计损坏方式可能迅速发展，例如采用滑动轴承的机器，可能就是这样？

3.1.5 定期的状态监测

可以用永久的在线的系统或便携式系统进行定期的状态监测。在线定期监测系统可包括采用多路转换器连接的自动振动监测系统。这种情况下，所有的通道周期地不

受限制地一个接一个地扫描。测量系统永远起作用，然而，在监测各个测量点之间有间隙，它与监测的通道数和每个通道的测量时间长度有关。这种系统称为“扫描系统”或“间断式系统”。

对于已证明不宜采用永久式在线系统的机器，通常采用便携式系统，它们大多数适宜于定期监测。

3.2 数据采集

在选择了监测的设备和确定了合适的测量系统类型后，建议绘一张状态监测程序流程图。图 3 表示了这样的一种典型的流程图，然而，因为每个工厂和每一个系统都有各自的特点，数据流程应该针对每一个服务对象，以便提供最大的益处。

伴随采集的任何振动数据都应该清楚地说明诸如转速，负载，温度等运行状态。这种说明至少应该包括轴的转速(转/分)，机器的负载(功率，流量，压力等)和其它可能影响测量的振动的运行参数。

通常，在数据采集过程中，非常强调运行状态应该尽可能接近机器的额定运行状态，以确保数据的一致性和有效的可比性。如果不可能达到这种状态，为了评定数据的任何差异，必需知道该机器的特性。

因为状态监测的程序包括“趋势”处理，它研究振动值随时间变化的速率，在成功地测量过程中，运行状态保持相同特别重要，只有这样，趋势才是有价值的。例如，在泵中，在“正常”运行负载与“异常”运行负载之间，泵的振动值可能变化很大。因此，由于运行状态的变化而引起的振动响应的变化很容易被解释为由于某种与振动不相干的因素的变化引起的。

此外，数据采集的时间间隔不一定是恒定不变的。正如 6.2 节中所指出的那样，它取决于机器当前的状态。

根据机器的复杂程度和测量的目的，还可能采集其它状态下的数据。例如，怀疑存在不平衡，摩擦，轴裂纹或者油膜振荡故障时，建议进行瞬变状态的起动和停机过程的试验。

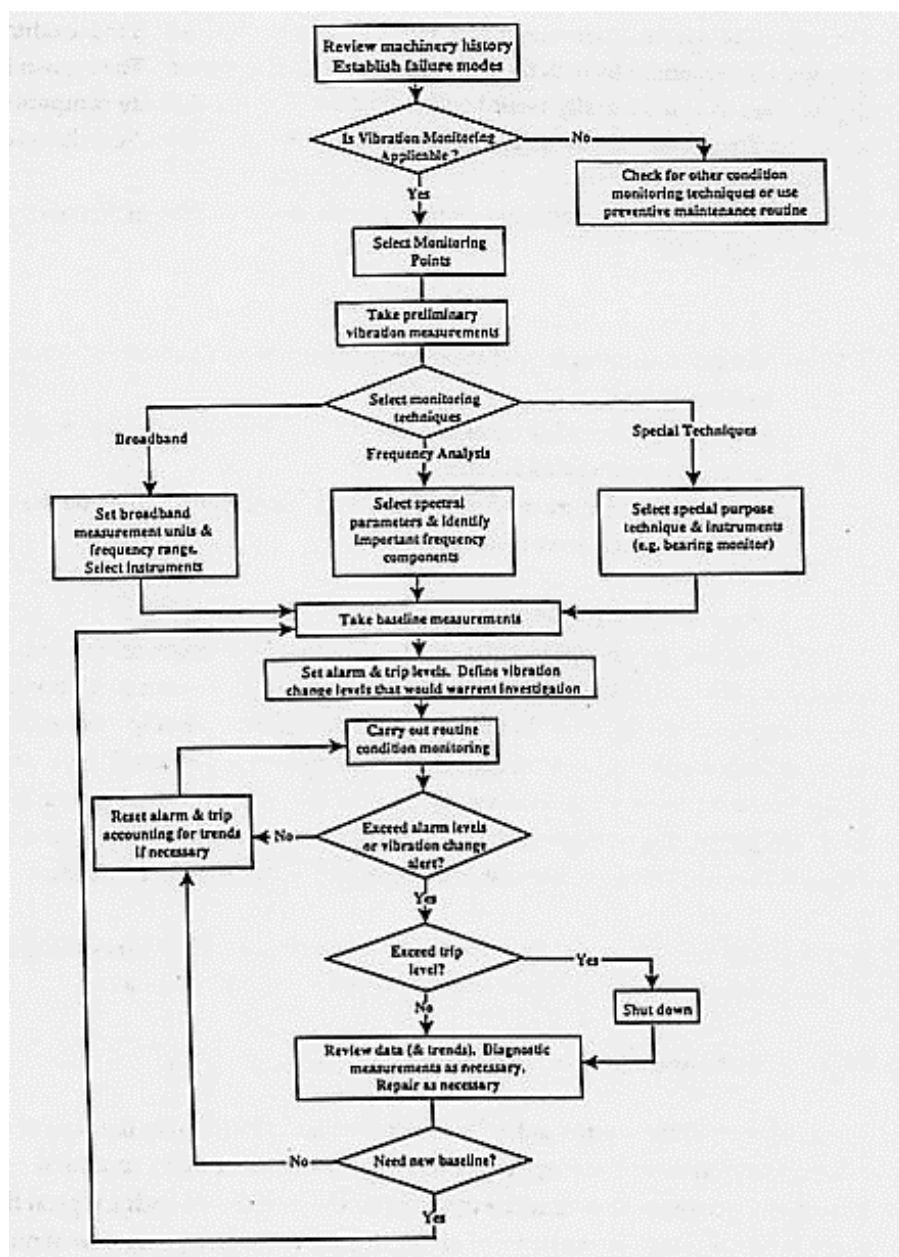


图 3 振动状态监测流程图

4. 测量

这一节提供振动状态监测推荐的测量类型和测量的量的信息。

4.1 测量的类型

通常，机器状态监测可能采用的振动测量类型有三种：

←在诸如轴承盖，机器壳体或机器的基础这样的机器的不旋转的结构上测量的绝对振动；

↑在转子与静止的轴承或轴承座之间的相对运动；

→旋转件的绝对振动运动。

结构的振动测量通常采用振动速度或振动加速度的**有效值**。见国际标准化组织标准 ISO10816-1。

用若干不同的振动位移量进一步定义旋转件的绝对振动位移和相对振动位移，其中的每一种，现在都广泛应用，在国际标准化组织标准 ISO7919-中定义了它们。这些包括：

Sp-p ：测量方向的振动位移峰峰值；

Smax ： 轴相对于时间积分的零平均位置的振动位移最大值。

这些振动位移量的每一种都可以用于轴振动的测量；然而，应该清楚地识别这些量，以确保正确地解释测量的结果。

应该注意，国际标准化组织标准 ISO10816 和 ISO7919 都只论述宽带振动测量。然而，状态监测可能包括附加的振动测量和分量。例如：

频谱分析

滤波

时域波形和轴心轨迹

带幅值和相位信息的向量分析

4.1.1 振动传感器的定位

状态监测的振动传感器的定位与具体的机器和测量的具体参数有关。在规定“位置”之前，首先需要识别监测的参数，即：

←机器轴承座的绝对振动；

↑轴相对于轴承座的振动运动；

→在机器运转时，轴相对于轴承座的位置；

↓轴的绝对运动。

通常，振动传感器应该定位于最可能提供最大振动值的位置处，最可能早期提供摩擦或故障指示的位置处。最好根据机器制造厂和用户的经验选定具体的位置。

4.1.2 典型机器的振动传感器的定位

附录 A 包括一些表示获得不同类型机器有用的振动数据的推荐的振动传感器的定位。在这些位置和方向测量轴承附近轴的振动。

4.1.3 振动传感器的定向和识别

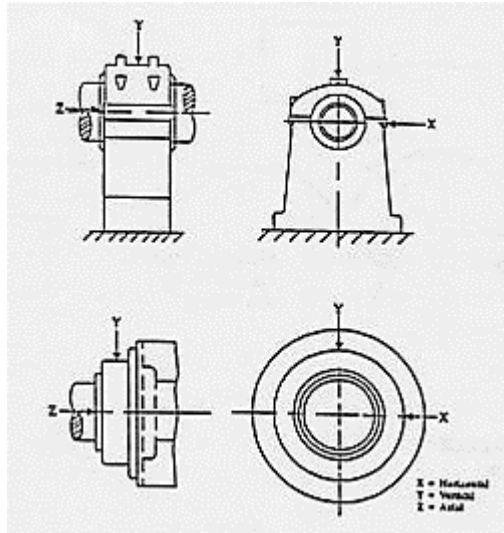
振动传感器的定位应该清楚地作出标记，并能清楚地识别，以确保成功地测量过程中定位的重复性。附录 B 提供了振动传感器定向和识别约定的一种建议的方法。

4.1.4 非旋转结构上的振动测量

国际标准化组织标准 ISO10816 提供了不同级别机器的具体的程序和仪器。这些标准把振动速度的有效值(毫米/秒，有效值)作为较好的评定参数。可以直接用振动速度传感器测量，也可以用带积分网络的振动加速度计测量。

这些类型测量的典型的振动传感器的定位都是在每个轴承盖或轴承座上，如图 4 所示。

图 4 在机器壳体上测量振动的典型的振动传感器定位的示意图



4.1.5 旋转轴的振动测量

如下几节说明用于旋转轴振动测量的各种振动传感器及布置。在图中还表示的都是指就地信号调节和数据处理。4.1.7 节包括信号调节的讨论。信号调节和分析以及数据的显示的更详细的细节，请参考国际标准化组织标准 ISO13373-2。

4.1.5.1 轴相对于轴承座的相对运动

国际标准化组织标准 ISO7919 提供了不同级别机器旋转轴宽带振动位移测量的具体程序和仪器。

在同一横截面内布置成测量旋转轴或旋转件与静止件之间径向相对运动的非接触式振动传感器，最好地测量轴的相对位移。图 5 提供了这样的非接触式振动传感器系统的一种典型的安装。

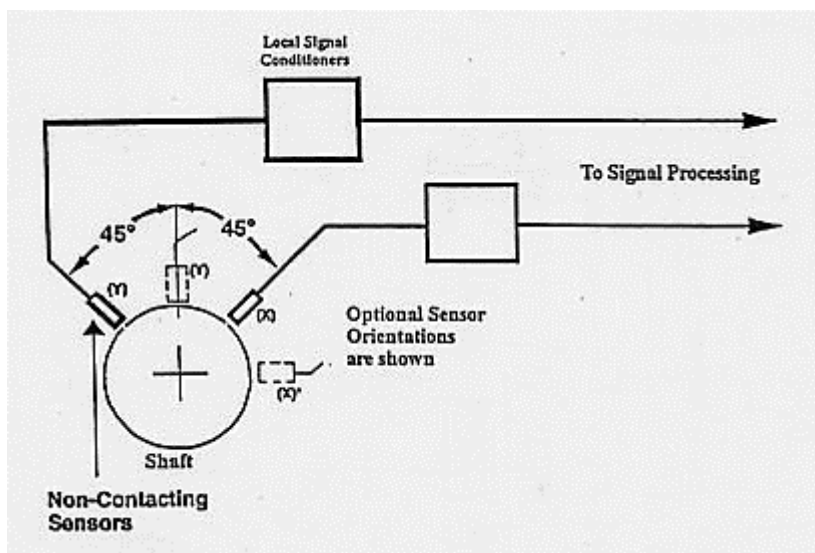


图 5 利用非接触式振动传感器的相对运动测量系统示意图

在同一横截面内布置成用两个非接触式振动传感器测量旋转轴与静止件之间的径向相对运动，最好地确定轴的相对位置。在每个轴承处，振动传感器通常正交地安装

在轴承内或者尽可能靠近轴承座处。可能有一些例外，例如，在柔性轴机器上，可能要求把振动传感器固定在非轴承位置处。

任何情况下，必需把振动传感器布置成能使振动传感器对机器的动态力提供合适的灵敏度。虽然振动传感器可能位于任意角向位置，通常都把振动传感器定位于水平或垂直，或者在与水平和垂直成 $\pm 45^\circ$ 度处，根据现成的接近旋转轴的具体结构而定。不推荐采用单个振动传感器，在使用单个振动传感器之前，应该研究一下警告，因为它不可能取向于提供最大振动测量结果。

4.1.5.2 轴的绝对运动

正如国际标准化组织标准 ISO7919/1 定义，轴振动测量的较好的测量的量是振动位移。诸如那些有柔性的转子支承结构或者柔性转子，或者在转子自振频率附近运转的机器，可能需要轴的绝对运动的测量结果。

图 6 和 7 提供了确定轴的绝对运动的测量系统的例子。较好的方法是如图 6 所示的非接触式和地震式振动传感器的组合。虽然在某些情况下，可以采用图 7 所示的轴骑杆振动传感器，应该注意，这种方法的频率范围有限，并且，这种方法不能提供轴的径向位置数据。

图 6 利用非接触式和地震式振动传感器组合的绝对运动/相对运动测量系统示意图

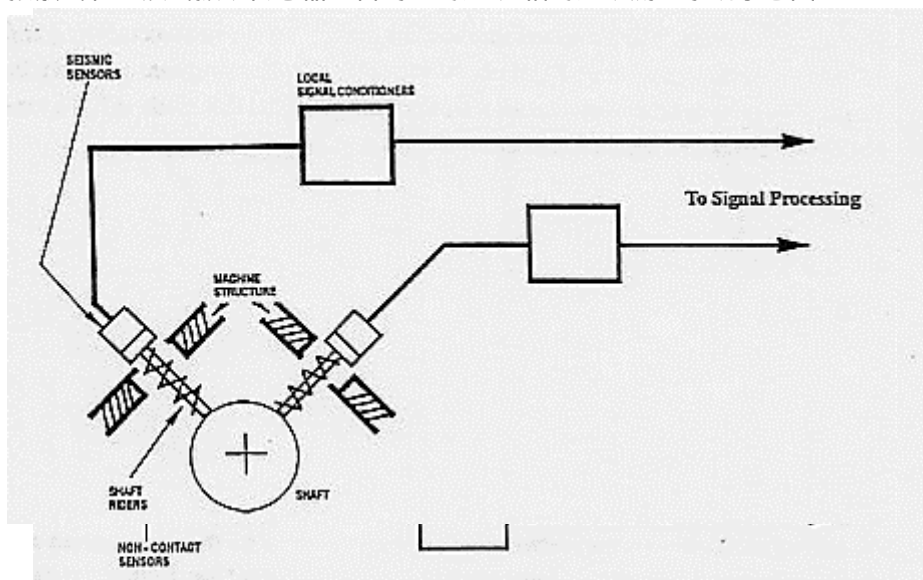


图 7 利用带地震式振动传感器的轴骑杆机构的绝对运动测量系统示意图

4.1.6 扭转振动

定期监测旋转机器的扭转振动目前不常见。只在发电行业非常有限数量的电厂采用之，目的是对大型汽轮发电机和传输网络中电气振荡的扭转动力学相互作用的严重程度的了解。这包括监测由于传输网络中瞬态干扰(例如，故障，短路)和网络的连续作用的稳态激励(例如，不平衡的传输线路)产生的汽轮发电机轴的扭转响应。作这项工作的监测设备非常专业化，并且非常昂贵，要求与数据处理计算机连接，变换汽轮发电机轴若干位置时所获得的机械信息，估算该发电机内最关键位置处的疲劳寿命支出。

需要扭转振动测量时，通常通过测量选定的传感器位置处发电机的振荡速度的变化来测定的。常用的传感器系统如下：

←自由端固定的扭力计，它测量振动角速度。可以电气积分振动角速度信号，提供扭转位移幅值；

↑自由端或带齿的中间轴轮与固定在静止结构上的电磁传感器组合。这种传感器提供目标“带齿的”轮的瞬态振荡速度信号。这个信号经过调节提供扭转位移信号；

→固定在中间轴或自由端的带径向码标记的盘与光学传感器组合，它们可以测量目标线路的瞬态速度和相位的变化。电气上调节这个信号，提供扭转位移信号。

↓固定在轴上的应变片，直接测量扭转应变的交变分量。

不管所用的测量类型，都需要数学模型，把在选定位置处测量的信息变换为对感兴趣的其它位置处的响应的估算。通常，机械测量变换为应力和疲劳响应非常复杂，需要完美的分析程序。

关于所采用的硬件和软件系统以及扭转振动分析，在技术文献中有很好的证明文件，因此，在国际标准化组织标准 ISO13373 的这一部分不再讨论。

4.1.7 信号调节系统

振动传感器产生的信号典型地都需要一定程度的调节，以提供有用的测量结果。信号调节功能可能包括传感器输出信号变换为可计量的量。例如，电流或电压；并且把信号处理为要求测量的合适的形式。

这种调节处理的共同例子是放大或衰减，滤波，定比例，直流偏置和积分。根据测量系统的复杂性，必要的信号调节电路可以取若干形式中的任何一种：

←传感器的积分部分；

↑测量仪器的积分部分；

→传感器与测量仪器之间信号通路中分离，自容仪器；

↓以上部分的组合。

在简单系统中，信号调节功能内置在传感器中或测量仪器内(或者两者内)，用户不能选择信号调节的设定。然而，在信号调节中带有较宽变化和较多选项的较复杂的设备中，必需仔细保持所有的设定的精确记录，这样，随后的测量才能重复原始的设定。在不同信号调节设定下进行的测量的比较如果不相同，则可能导致调节评定的非常严重的误差，因为确保测量的量的变化可能不正确地归因于机器状态的变化。

在传感器与测量仪器之间加上外部信号调节时，主要是知道信号电平和仪器动态范围，避免把畸变引入到测量中。此外，信号调节器的频响特性必需适当地与保留的仪器相匹配，以获得有效的结果。

关于信号处理和分析的信号，请参考国际标准化组织标准 ISO13373/2。

4.2 测量的量

振动可以用振动位移(微米)，振动速度(毫米/秒)或振动加速度(米/秒²)的形式定量化。除了特殊情况外(在本标准的其它条款中讨论)，机器静止部件上的状态监测的推荐的量为振动速度。对于监测旋转件的相对位置和相对运动，推荐振动位移。对于滚动轴承和齿轮的状态监测的推荐的测量的量为振动加速度，例如，因为它们在高频频处呈现故障。任何情况下，都应该主要根据预计的激振频率选定测量的量。

采用滑动轴承支承的轴，在机器从静止到运转时，可能出现轴位置的“直流”或静偏移。虽然这个位移不是直接的振动分量，因为它在初始定位后没有运动，应该记录它，因为它提供从测量机器的轴的动态振动特性的基础位置。

4.2.1 幅值范围

必需在过去的经验或适用于评定监测的具体机器的标准的基础上选定测量的幅值范围,包括最低到最高的预计的幅值。缺乏过去的经验时,关于振动速度测量的推荐的幅值范围,请参考适用的标准(国际标准化组织标准 ISO10816 和 ISO7919)。

应该设计试验设备,确保其自身噪声至少为 10 分贝,或者测量的最低幅值的三分之一,确保系统可以接纳至少比最高的预期的信号高 10 分贝的信号。

4.2.2 频率范围

为了可靠的状态监测,测量设备必需能覆盖很宽的频率范围,以便不仅包含轴的旋转频率及其谐波频率,还能包含由于其它的诸如滚动轴承,齿轮,密封,叶片,导叶等其它零部件产生的频率。如果可能的话,测量的频率范围应该适合于监测的具体机器,但是,通常不应该超过振动传感器的最高线性范围。

振动传感器的最高线性范围就是振动传感器的校准灵敏度为常数的频率和幅值的范围,并且在规定的测量精度内。关于测量精度的进一步定义,请参考 4.3 节。

系统的频率的线性范围通常应该包括从最低旋转频率的 0.2 倍到感兴趣的最高激励频率(通常不超过 10K 赫兹)。最高激励频率典型地为旋转频率与叶片数目,齿轮的齿数或导叶的数目等的乘积的频率,或者可以是滚动轴承故障频率之一。对于泵类机器,气穴激起的振动也可能出现,并且超出这些频率范围。

对于机械适应性,10K 赫兹是合适的,然而,对于诊断诸如齿轮或滚动轴承的非常高频率的信号,10K 赫兹的限制可能增加了,甚至在振动传感器供应商建议的线性范围之外,如图 8 所示。这些情况下,虽然单个高频信号的幅值可能不完全精确,但是,这些信号还是能提供有价值的信息。关于非常高频率分析的进一步的信息,请参考国际标准化组织标准 ISO13373/2。

4.2.3 相位

最常用的相位测量是在不平衡的确定和修正时。此外,相位测量可用于包括通过测量机器各部件之间的相对运动,热向量,证实不对中,转子裂纹,确定互相影响,识别机器共振等故障的检测。

测量两个位置之间的相位时,重要的是用类似的传感器和有关的信号调节设备,以避免仪器的相位误差,或者必需作相位差的补偿。

两个振动源之间的相位角是评定信号时的一个重要考虑因素。相位就是一个正弦振动信号与另一个正弦振动信号之间的相位差,或者是某振动信号与某固定基准之间的相位差。对于状态监测,通常利用相位滞后。

能在通过轴上某个基准点时产生信号的固定传感器,可以用作相位基准。例如,相位滞后相对于轴上某基准点与通过振动信号的最大或最小点之间的延迟时间。常被称为触发位置的相位基准点的物理位置就是任意的,然而,如果可以利用的话,建议可把轴上的键槽作为基准点。如果没有键槽,那么轴上任何其它不连续点,只要它每转一转只产生一个不连续的标记脉冲便可以用作永久的相位基准。

4.3 测量精度和重复性

本程序下可以接受的测量落在图 8 所示的两种类型内。

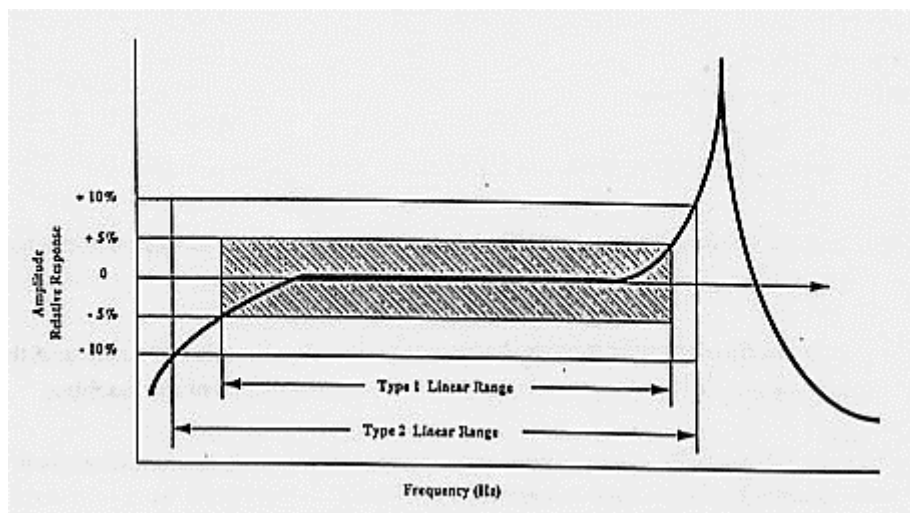


图 8 系统响应

类型 1 测量可以达到测量要求的幅值和频率范围的校准灵敏度的 $\pm 5\%$ 的允许误差。

类型 2 测量可以达到测量要求的幅值和频率范围的校准灵敏度的 $\pm 10\%$ 的允许误差。

在要求的幅值和频率范围内超过校准灵敏度的 10%误差的测量不符合本程序，除非采取特殊措施使它们达到要求的允差。根据本程序所作的测量应该说是利用合适的类型 1 和类型 2 的测量。

同样重要的或者在某些情况下更重要的是数据的重复性；因此，应该用相同的仪器，相同的灵敏度和相同的校准进行测量。除非可以精确地作已知的补偿，否则机器状态信号的比较和趋势分析可能会误导。

还应该提出警告的是，图 8 响应曲线是一般形状。下面所述的每类振动传感器都有不同的特性，每个选定的振动传感器都应该有它自己的实际响应曲线。

5. 振动传感器

5.1 振动传感器类型

振动状态监测有两种基本类型的振动传感器：

←地震式振动传感器，通常它固定在机器的结构上，它的输出就是机器结构的绝对振动的度量；

↑相对位移传感器，它测量机器的旋转件与非旋转件之间的振动位移和平均位置。

某些机器的测量需要其它类型的传感器，例如应变片，然而，这些是特殊的应用，通常不用于状态监测。

5.2 振动传感器的选择

选择合适的振动传感器与具体应用有关。通常，用于状态监测的振动传感器是：振动加速度计，它的输出可以处理后产生三种参数中的任意一种(振动加速度，振动

速度和振动位移)；振动速度传感器，积分它的输出可以产生振动位移；以及非接触式振动传感器，它的输出与机器的旋转件与非旋转件之间的相对位移成正比。

图 9 包括这三种类型振动传感器的选择指南以及它们的随振动频率变化的动态范围。所示的这些动态范围包括了状态监测的主要应用。在特定环境下，可以扩展每种振动传感器的范围，它主要用于诊断。

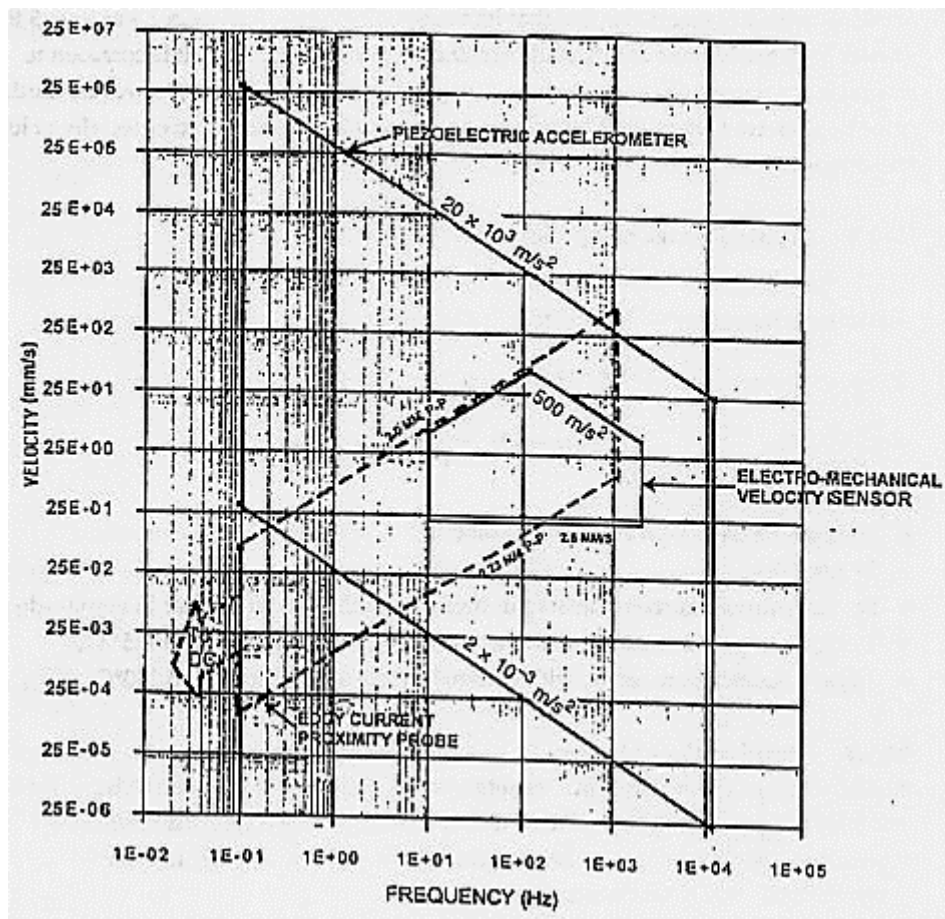


图 9 典型地用于机器状态监测的振动传感器应用的动态范围随频率变化范围

5.2.1 振动加速度计

振动加速度计是一种地震式传感器，它产生一个与被测物体的机械振动加速度成比例的电压信号。通常，振动加速度计固定在机器的静止(非旋转)结构上。振动加速度计可在不同的共振频率下使用。选择振动加速度计时，建议该振动加速度计的固定共振频率至少比预期的机器的激振频率高三倍。通常把振动加速度计的输出进行积分，提供振动速度信号，然而，必需提出警告，作两次积分提供振动位移，尤其是低频时要特别注意。

5.2.1.1 典型的应用范围

共振频率： 10K 赫兹到 100K 赫兹
 频率范围： 5 赫兹到 30K 赫兹
 灵敏度： 0.1 毫伏/(米/秒²)到 10 毫伏/(米/秒²)

←典型地用于状态监测的振动传感器，它们的质量范围从 10 克到 170 克；

↑特殊用途的振动加速度计可以测量幅值小 100 倍；

- 典型的温度范围，带内部电荷放大器的振动加速度计可以达到 125°C；
 ↓典型的温度范围，带外部电荷放大器的振动加速度计可以达到 250°C。

5.2.1.2 使用特性

振动加速度计可以有各种尺寸。它们的特性是宽的动态范围(1 到 1,000,000)和宽的频率范围。它们较适用于固定区域小的小型物体，高的环境温度或者强磁场。

振动加速度计的缺点是灵敏度受绝缘故障的影响，温度波动的影响较大以及振动加速度计没有内部电荷放大器时，受连接电缆移动的影响较大。如果振动加速度计固定位置处或者环境温度高于 125°C，不能采用后面那种类型的振动加速度计。

5.2.2 振动速度传感器

振动速度传感器是一种产生与被测物体的机械振动速度成比例的电压信号的传感器。通常，振动速度传感器固定在机器的静止(非旋转)结构上。当希望得到振动位移参数时，通常把振动速度传感器的输出进行一次积分，便可得到振动位移输出。

振动速度传感器的弹簧-质量特性通常有一个约 5 到 15 赫兹的内置共振频率。在远低于其自振频率时，振动速度传感器的输出与加速度成正比，加速度是振动速度的一次微分，而不是与振动速度成正比。在接近振动速度传感器自振频率的频率范围内，振动速度传感器的输出与内部阻尼有关。大多数情况下，只有远高于振动速度传感器的自振频率的频率范围才确定真正的振动速度和相位特性。

如果必需在低于振动速度传感器自振频率的频率范围使用振动速度传感器，则必需对该应用进行合适的校准。现代自振频率高于 10 赫兹的电动式振动速度传感器有内置调节电子设备，它可以修正低于振动速度传感器的自振频率，可以低至 1 赫兹的频率范围内的灵敏度。

5.2.2.1 典型的应用范围

共振频率： 4 赫兹到 20 赫兹
 频率范围： 1 赫兹到 2000 赫兹
 阻尼因子： 0.4 到 0.7
 灵敏度： 10 毫伏/(米/秒²)到 1000 毫伏/(米/秒²)
 ←典型的温度范围从-50°C 到 200°C
 ↑典型的质量从 50 克到 200 克

5.2.2.2 使用特性

振动速度传感器特别适宜于测量低频振动。用于监测的大多数振动速度传感器的共振频率高于 10 赫兹。

振动速度传感器的优点是在小的振源阻尼下相当高的输出电压。因此，振动速度传感器对绝缘故障和电场都不敏感。具有单线圈的电动式振动速度传感器对环境磁场非常敏感，因此，需要良好的抗磁屏蔽。甚至在屏蔽情况下，在开式电动机上测量时，仍可观察到严重的干扰。现在，大多数电动式振动速度传感器都有两个线圈，因此，对环境磁场不敏感，所以可以降低抗磁屏蔽的要求，从而重量较轻。

5.2.3 轴位移传感器

旋转机器中，尤其是大型关键透平机和支承结构的质量比转子质量大的机器，可能需要测量转子与定子结构之间的相对位移。电涡流式位移传感器就是一种非接触式

位移传感器，它可以直接测量旋转轴相对于静止的轴承或者机器的轴承座的振动位移和位置。电涡流式传感器提供振动运动的交流分量和位置的直流分量。

电涡流式位移传感器与地震式轴承座传感器组合使用时，积分其信号可以提供位移信号，通过向量叠加这两个位移信号可以测量旋转轴的绝对振动位移。如果地震式传感器和电涡流式传感器的输出信号的相位漂移不同，则必需对这种传感器组合的信号调节设备进行补偿。

5.2.3.1 电涡流式位移传感器的工作原理

最常用的电涡流式位移传感器采用涡流原理。一个载有高频交流电流的线圈产生一个高频磁场。如果电感应材料进入这个磁场中，例如机器的轴，便在这个材料内产生涡电流，从高频磁场吸取能量。与这个高频线圈耦合的振荡电路产生与距离成正比的电压。这个振荡器可以集成在电涡流式位移传感器内，或者是外部的一个部件。

5.2.3.2 典型的应用范围

频率范围： 0 到 10K 赫兹
灵敏度： 2 伏/毫米到 10 伏/毫米
测量范围： 1 毫米到 10 毫米

←典型的温度范围从-50°C 到 200°C

↑典型的温度范围，带有集成振荡器，从-50°C 到 125°C

5.2.3.3 使用特性

通常，环境温度变化影响所有的参数，然而，例如利用热膨胀的电子补偿，可以使这种影响保持在可以接受的限制内。

此外，利用电涡流式传感器时，应该提出如下警告：

←电涡流式位移传感器顶端的区域必需没有导体材料；

↑测量区域应该没有导体材料镀层，并且应该连续；

→利用不同的轴材料时，必需重新校准电涡流式位移传感器；

↓不均匀的轴材料，轴镀层和剩磁都会产生信号叠加到振动信号上(这就是所谓的电气跳动(electrical runout))。轴表面的不规则(不圆度，槽等)也必需注意它们，因为它们也会影响测量的结果(这就是所谓的机械跳动(mechanical runout))。

°利用轴表面特性均匀技术，例如喷丸，微击，滚压，高频硬化或研磨技术等，可以使电气跳动最小。

5.3 振动传感器的固定

5.3.1 概述

机器振动合适的测量结果关键取决于精确地把振动运动传递到振动传感器。利用固定的传感器可以达到最宽范围的保真度，然而，有时采用手持式传感器固定就足够了。

关于振动加速度计的固定方法以及它们对性能的影响的完整的叙述，请参考国际标准化组织标准 ISO5348。

一般的指南如下：

固定振动传感器的较好的方法是确实的机械固定，一般在振动传感器和机器上钻孔并攻螺纹，用螺柱把两者连接固定在一起。固定螺栓能传递高频信号，不损失信号。机器表面应该平整，干净。经验表明，至少要达到 1 微米表面光度和机械师的表面平板达到 95% 接触的平面度。还有，建议对所有的接触表面涂上一层薄薄的硅脂或相当的脂，可以改善响应信号的传递性，尤其是高频信号。

在无法采用螺栓固定的情况下，用粘结剂把振动传感器固定到机器表面上。所用的粘结剂应该是固化时具有高刚性特性型的。不要采用有弹性的粘结剂，因为它们降低信号传递的保真度。

另一种无损型振动传感器固定的常用方法是用永久磁铁，然而，应该注意这种固定表面的平直度是这种方法的关键。粘结剂和磁铁固定这两种方法都有频率，温度和幅值的局限性，因此，在状态监测中采用时必需特别谨慎。

5.3.2 振动传感器固定的影响

有些情况下，可能必需把振动传感器固定在一个转接座上，转接座再固定到机器上。这些情况下，所有的机械连接固定必需可靠固紧，这是极其重要的。此外，包括振动传感器和转接座这个完整的组件的固定的自振频率至少应该比感兴趣的预计的最高的机器激振频率高 3 倍。

永久固定振动传感器不现实时，可以采用手持式固定。手持式固定有频率局限性，因此，通常不推荐用于 500 赫兹以上频率的测量。采用手持式固定传感器似乎要兼顾测量精度和测量的重复性两者。此外，某些结构的较高频率的振动不能采用手持式固定传感器方法进行测量。

为了验证前一段落中所述的各种振动传感器固定方法对振动传感器性能的影响，具有内部共振频率为 30K 赫兹的振动加速度计的固定的共振频率典型地下降为如下：

- ← 刚性螺栓固定：其固定不降低振动加速度计的共振频率；
- ↑ 绝缘螺栓固定：如果为了防止接地回路或者其它影响，采用诸如云母垫这样的非导电刚性材料，固定的共振频率略降低到 28K 赫兹；
- 刚性粘结剂固定：固定的共振频率将降低到约 28K 赫兹；
- ↓ 软环氧树脂固定：固定的共振频率将降低到约 8.5K 赫兹；
- ° 永久磁铁固定：固定的共振频率将降低到约 7K 赫兹；
- ± 手持式固定：固定的共振频率将降低到约 2K 赫兹，但是不推荐用于 500 赫兹以上的振动测量。

振动传感器性能同样降低，然而，降低的程度的量化没有标准。

6. 数据格式

前面的条款 4 中提供了振动状态监测推荐的测量的量和测量的类型的信息。以许多基本的格式分析和给出机器振动状态监测数据，它们最初是在采集基线数据时建立的。这些数据格式包括：宽带振动总量值趋势，频谱分析，频谱分量趋势，限定频带内或窄带频谱分量趋势，谱阵分析，波德图，纳奎斯特图或极坐标图以及轴心轨迹等，但是不限于这些。

关于以上数据分析方法，数据表示和报告格式的程序更详细的信息，请参考国际标准化组织标准 ISO13373/2，ISO13373/3 和 ISO13373/4。

6.1 基线测量

6.1.1 概述

基线振动数据就是已知设备运行是可以接受的或者稳定的时，所测量或观察到的那些数据或数据组。所有的随后的测量都将与这些基线数据作比较，检测振动的变化。基线数据必需确定机器的初始稳定的振动状态，最好是机器处在其额定工作状态和流量率下运行。

对于新的和修理后的设备，可能有一定的磨合期。因此，在运行的开始几天或几周内，观察振动的变化。在采集基线数据之前，必需给一定的磨合时间。

对于已经运行很长时间的设备，第一次监测时，仍然可以确定一个基线作为趋势分析的基准点。

为了确定机器已经达到稳定状态，应该有足够多的时间间隔采集振动数据和机器运行数据。这时，应该采集所有的基线数据，并且与适用的标准作比较，确定机器的可操作性。还应该对诸如轴不稳定性等不希望的状态的迹象研究基线的特征。

这些基线数据就是将来检测和诊断机器故障的基础。这些数据必需以很容易检索和安全的形式储存起来。

基线振动数据可以包括常用于确定机器的振动状态的所有的潜在的振动参数。基线数据初始确定愈完善，恰当地检测，分析和跟踪机器恶化的可能性愈高。确定状态监测程序的振动基线所用的数据可以包括如下的数据的全部或者部分：

- ← 宽带振动幅值(振动位移，振动速度或振动加速度)；
- ↑ 旋转频率；
- 转速频率的振动幅值；
- ↓ 振动向量(振动幅值和相位)；
- ° 稳定状态下振动信号的频谱分析；
- ± 升速或降速时频率响应数据(例如，波德图，谱阵图，极坐标图等)；
- " 轴心轨迹分析；
- ≥ 轴中心连线的位置。

基线特征定义的完整性与以下因素有关：

- ← 机器的重要性；
- ↑ 机器过去的历史；
- 可用的分析设备；
- ↓ 人员的素质；
- ° 其它。

采集数据的位置不需要，也不应该限于那些连续监测的位置。建议通常的基线应该包括比定期巡回检测路径程序采集的数据更多的测量点，方向，较宽的频率范围和较细的频率分辨力，更完善的振动分析。在已经建立的相当少测量点的连续的或定期的监测发生变化后，可以准备重复基线分析所用的程序，以助确定振动变化的原因。

6.1.2 宽带振动

除非过去的知识要求，否则基线宽带振动应该包括足够的动态范围和包括机器内所有的感兴趣的强迫激振的频率响应。根据 4.2.2 节，这要求采集幅值从 0.1 毫米/秒到 100 毫米/秒，频率范围从最低旋转频率的 0.2 倍到感兴趣的最高激振频率的 3.5 倍的振动速度的有效值。对于大多数机器，这个频率范围其上限通常为 10K 赫兹，因为测量系统的限制。频率下限通常为 10 赫兹，除了低速机器以外。

在国际标准化组织标准 ISO7919 和 ISO10816 中，可以分别找到转子和静止结构宽带振动的测量程序。

基线频谱分量振动特性应该利用以上对宽带振动测量所给出的动态范围和频响进行测量，以验证附录 C 中所包括的潜在的振动激励源。然而，可能会出现其它的频率分量。评定可能导致早期检测故障的这些异常是很重要的。

意外的频谱分量也可能揭示附录 C 中未包括的某些设计构造。这些基线数据应该作为现成的基准储存起来，供将来机器的评定和诊断用。

6.2 振动趋势

设定趋势程序时，建立测量的时间间隔很重要。在新的或者修理过的机器上，在稳定状态下运行时，根据机器的重要性，其可靠性历史以及记录仪器的数据储存能力决定实际的测量时间间隔。例如，在连续监测的在线系统情况下，如果在一段规定的时间内振动值不变，有一个认为是没有值的，旧的数据的预先计划的“信息转储”。对于定期测量的系统，振动开始增大时，应该缩短测量的时间间隔，增加巡检次数。在 6.2.1 和 6.2.1.2 节中介绍这些指南。

在作升速和降速过程振动趋势分析时(见 6.2.2 节)，与该机器类型一致的规定的转速步长进行测量。对于大型，相当低转速的机器，有时采用转速的增量可以低至 5 转/分，然而，对于升速或降速很快的机器，这样的转速增量是不实际的。这些情况下，在升速或降速过程中可以连续测量。

6.2.1 宽带振动趋势

在建立轴或静止结构振动幅值的评定准则时，通常有三个必需考虑的因素：

- ← 振动幅值；
- ↑ 任何明显的振动变化；
- 振动变化的速率。

在新机器交工试运转时，应该根据振动幅值相对于某些预定的和协议一致的允许值为基础进行评定。然而，一旦某机器交工试运转并且已确定了正常的运行幅值，则不仅以幅值为基础，还应该以发生的任何明显的变化为基础进行评定。

国际标准化组织的两个标准提供了确定何时安排旋转机器计划维修的标准。第一个标准(ISO7919)包括非往复式机器测量旋转轴振动的宽带振动的测量和评定；而第二个标准(ISO10816)包括在非旋转件上测量时宽带振动的测量和评定。这两个标准都以四个区域和振动的变化的形式给出了评定的标准。

大多数情况下，发现振动速度足以表示宽广的机器运行转速范围内振动严重程度的特征。然而，应该知道，利用单一的振动速度值，不考虑振动频率，可能会导致不能接受的大的振动位移。对于低速机器，以其转速频率振动为主时尤其如此。同样地，对于高速机器，或者具有由机器零部件产生高频振动的机器，恒定的振动速度标准可能导致不能接受的振动加速度。因此，基于振动速度的验收标准将取图 10 的一般形式。图 10 指出了上限频率 f_u 和下限频率 f_l ，表示了低于规定的频率 f_x 和高于规定的频率 f_y ，允许的振动速度都是振动频率的函数。然而，对于 f_x 和 f_y 之间的振动频率，恒定的振动速度标准是适用的。在国际标准化组织标准 ISO10816 的附录部分给出了具体的机器类型的验收标准和 f_l, f_u, f_x 和 f_y 值的精确的本性。

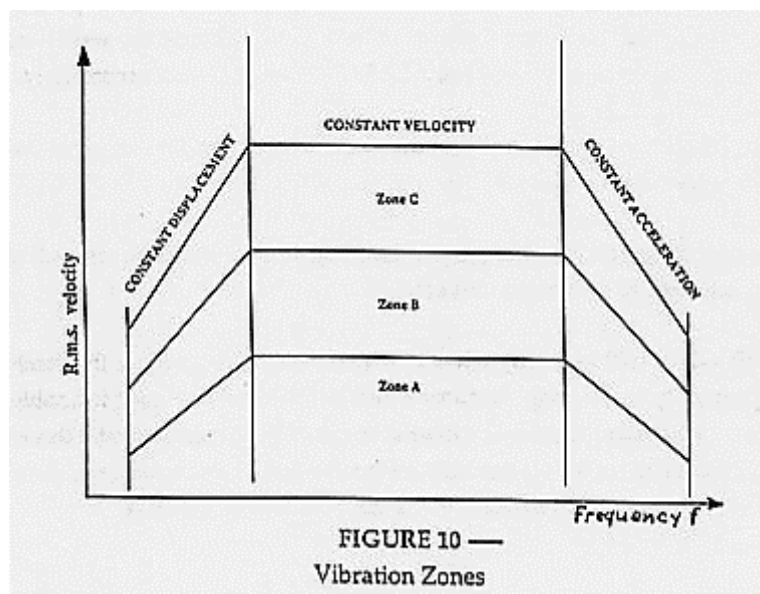


图 10 振动区域

新交工试运转的机器的振动通常应该落在区域 A 内。振动幅值在区域 B 内的机器通常认为是可以无限长时间运行的。

振动幅值在区域 C 内的机器通常认为是不能安全地长期运行。通常，机器可以在区域 C 内运行有限的时间，直到采取合适的补救措施为止。振动幅值在区域 D 内通常认为是足够严重到会引起机器破坏。

建议振动报警值应该设置在比基线值高于 B 区域的上限值 25% 处。如果基线值低，基线值可低于 C 区域。

大多数情况下，没有建立基线，例如，新机器，那么初始基线值应该或根据其它类似的机器(没有经验时)或是根据有关的达成一致的验收值确定。运行一段时间后，将建立稳态基线值，并相应地调整振动报警值的设定值。

任何情况下都建议振动报警值通常不要超过 B 区域上限的 1.25 倍。

如果稳态基线值变化(例如机器修理后)，可能需要相应地修正振动报警值的设定。

联锁停车值通常与机器的机械完整性有关，与能使机器承受异常动态力的具体设计特征有关。所采用的联锁停车值因此与类似设计的所有机器相同，通常与振动报警值所用的稳态基线值无关。

然而，对于不同设计的机器，可能有差别，因此不可能给出联锁停车绝对幅值的清楚的指南。通常，联锁停车幅值在 C 区域或 D 区域内，但是，建议联锁停车值不超过 C 区域上限的 1.25 倍。

在国际标准化组织标准 ISO7919 和 ISO10816 中推荐的区域边界是根据世界范围内工业调查的统计分析确定的。

当机器处于这些区域内每个区域中运行时，需要采取或建议采取的措施与在该区域内振动幅值变化的速率有关。

应该用那些相同的标准规定采集数据或评论用连续监测系统采集的数据的最长时间间隔。监测或评论数据的时间间隔将随着采集的振动的幅值和当时振动幅值的变化率而变化。这些措施在下面介绍，并且在图 11 和图 12 中描述。

6.2.1.1 情况 1：机器的振动幅值处在“正常范围”内(图 11 中 A 区域或 B 区域)

这种情况下，如下措施指南适用于图 11 的振动趋势曲线：

←如果振动幅值与过去的的数据相比，没有增大，则无需采取措施；

↑如果振动幅值在增大，增大的速率是线性的，并且在计划的下一次监测之前预期的振动幅值不超过正常范围的上限，则无需采取措施。然而，如果预期的振动幅值将在计划的下一次监测之前会超过正常范围的上限，则在达到正常范围上限前，应该安排更频繁的监测；

→如果振动幅值增大的速率是非线性的，或者在预期的时间内振动幅值增大速率超过前一次监测值的 25%，则应该用连续监测来证实这个振动增大的速率，或者安排计划进行更频繁的监测，并且考虑采取诊断措施。

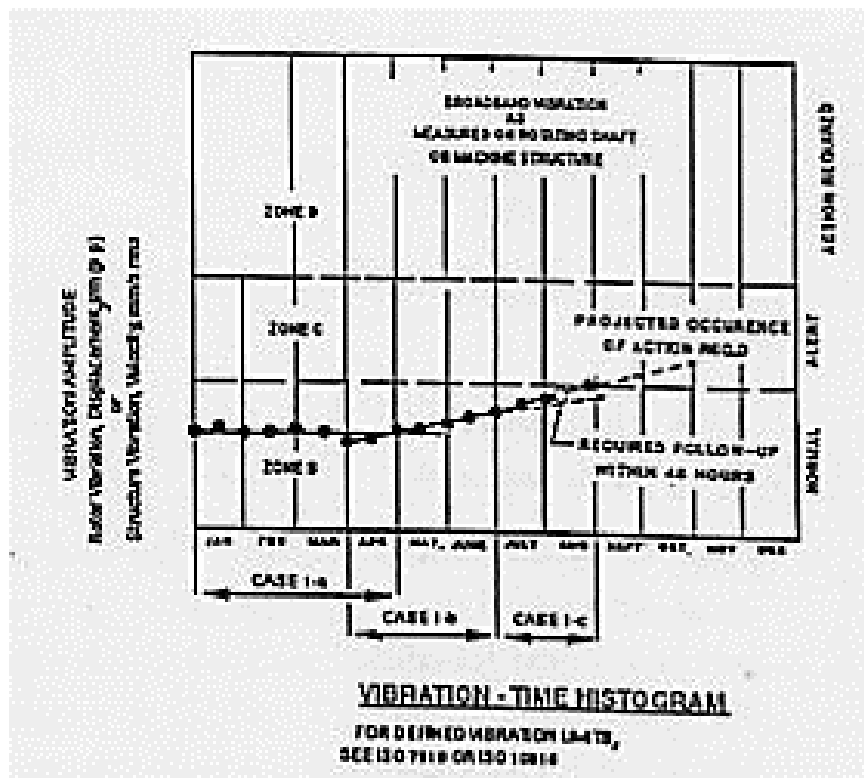


图 11 在“正常范围”内的振动幅值(美国机械工程师协会标准 ASME OM-14 指南)

6.2.1.2 情况 2：当前振动幅值处于“报警区域”内(图 12 中 C 区域)

这种情况下，如下措施适用于图 12 的振动趋势曲线：

←如果振动幅值没有增大，则把监测周期缩短到每周监测一次；

↑如果振动幅值以线性速率增大，并在计划的下一次监测之前预期的振动幅值会在计划维修之前超过应采取措施的幅值，或者振动幅值增大的速率是非线性的，则应该利用连续监测或者更频繁的监测证实振动幅值增大的速率，并且重新安排维修计划。提高监测频度，确保在重新安排的维修计划之前采集三次数据。建议执行诊断程序，确定是什么故障和需要采取的维修。如果发现振动幅值减小，则应该继续每两周监测一次，并且建议进行诊断。

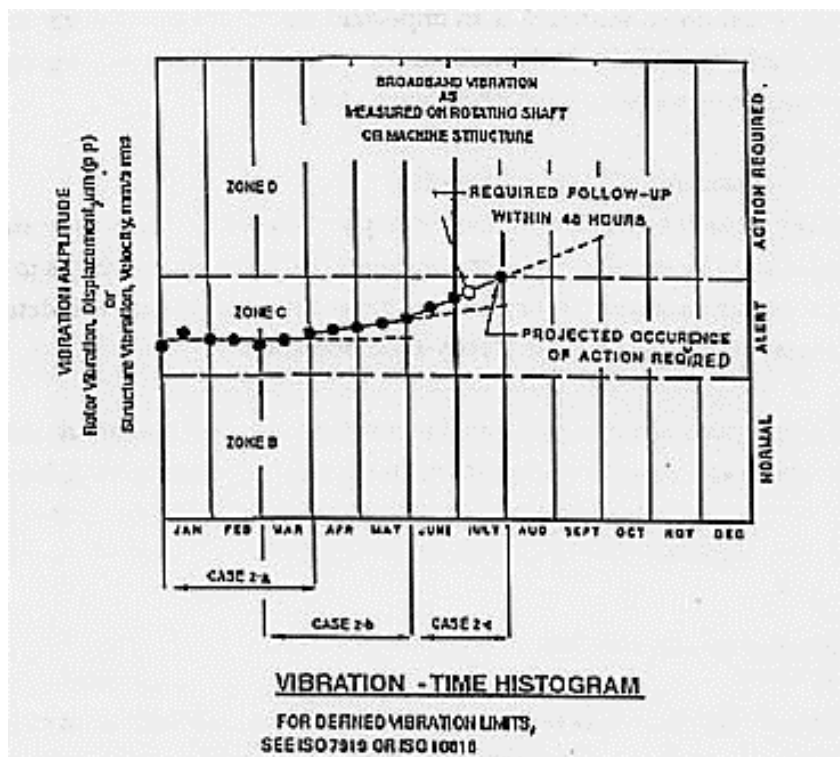


图 12 在“报警区域”内的振动幅值(美国机械工程师协会标准 ASME OM-14 指南)

6.2.2 在升速和停车过程中的振动

这里所定义的升速和停车过程中的振动是机器在升速和停车运行过程中所测量的振动信息。这类数据可以使人们了解机器在稳态运行过程中得不到的机器的机械状态信息。例如，不平衡响应，结构和零部件存在共振，包括临界转速，阻尼，电磁异常，摩擦和轴裂纹都是从升速和停车过程的数据中检测和分析出来的所有的状态的例子。升速和停车过程的频谱数据必需包含第三维，或是时间，或是转速。因此，升速和停车过程显示出比相当的稳定状态的频谱更复杂，如果绘制随转速变化的谱阵图，则需要每转一转一次的转速基准或相位基准。升速和停车过程中的振动数据通常以波德图，极坐标图或纳奎斯特图，坎贝尔图和谱阵图的形式显示。

升速和停车过程振动是基线振动数据的重要组成部分。初始试验愈完善，恰当地检测，诊断和跟踪机器恶化的可能性愈大。

6.2.3 瞬变振动趋势

虽然瞬变振动显示比稳态振动显示更复杂，为了检测机器的变化，还必需作出瞬变振动随着时间变化的趋势。复杂的三维数据的完美的分析将检测出在稳态运行中不可能揭示的异常。

甚至，如果机器的转速保持不变，随着环境条件(温度，压力等)，负载，工艺过程参数等的变化可能出现瞬变运行，因此，在尽可能相同的条件下作出随着这些因素变化的瞬变振动的测量很重要。

6.3 离散频率振动

6.3.1 概述

宽带振动不总是可以提供识别具体报警原因的足够的信息。对于在频谱中出现若干激励频率的复杂机器尤其如此。这些情况下，应该把宽带振动信号分离为离散的频率分量。大多数情况下，各个频率分量可以与相应的机器运动零部件相对应。当这些频率分量变化时，甚至可以在早期阶段便检测出运转事故或者机器损坏故障。机械引起的或热引起的转子不平衡，自激振动，摩擦，对中的变化，轴承或齿轮损坏和转子裂纹等，正是可以用离散的频率分析(频谱分析)检测出来的一小部分故障类型。

在正常的实践中，在交工试运行或修理后，采集该机器的基准频谱，它便成为基线特征谱。这个基准频谱可以与以后的频谱分析作比较，以便检测出任何变化。

图 13 中为一条样本频谱。它清楚地表明，在各具体频率处的振动幅值。评定这些频谱尖峰的来源很重要，因为它们的幅值可能代表着异常，立即研究它可以早期检测出故障。意外的频率成分还可能揭示附录 C 中忽略的某些设计布置。

关于把宽带时域信号变换为频谱的更详细的程序，请参考国际标准化组织标准 ISO13373/2。

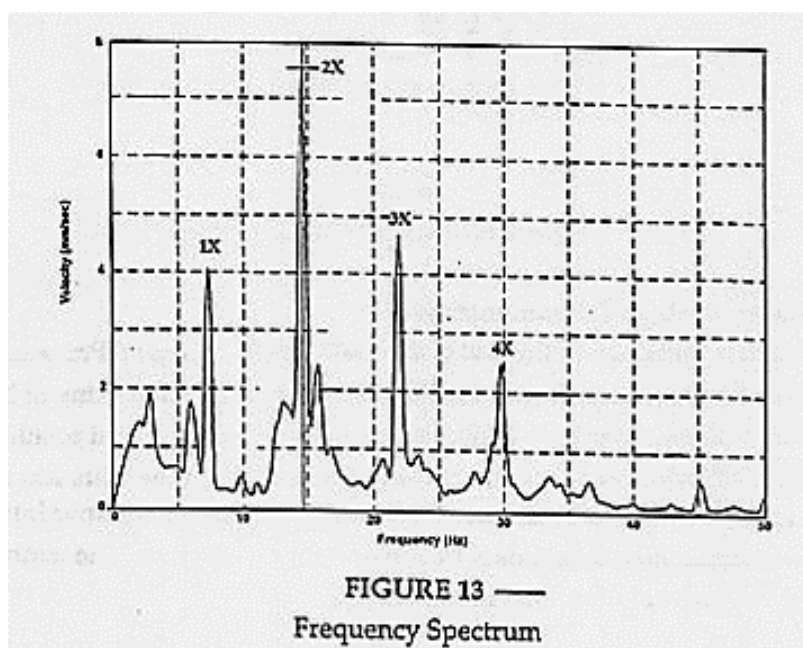


图 13 振动频谱

6.3.2 振动频谱分量趋势

机器振动频谱中的频谱分量趋势提供建立振动限制值的更完美的数据。图 14 表示基频及其谐波频率作为时间函数的趋势的一个典型例子。

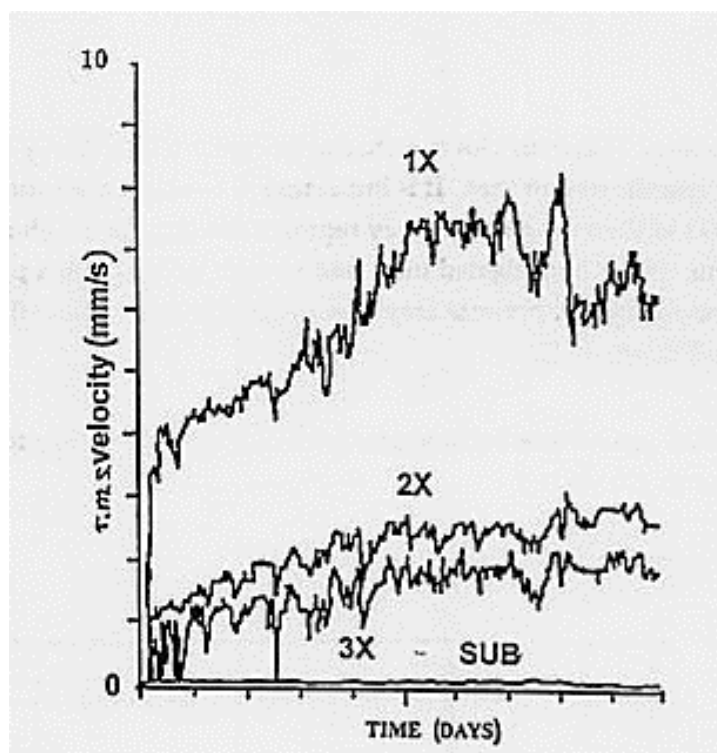


图 14 振动频谱分量趋势

7.数据分析和通讯

为了获得有用的数据，还考虑到现实性和经济性，国际标准化组织标准 ISO13373 的这一部分所包括的信息都是遵循机器的振动状态监测的数据采集的一般程序的。关于振动数据的进一步分析和表示格式，请参考国际标准化组织标准 ISO13373/2。国际标准化组织标准 ISO13373/3 论述了把振动状态监测数据从一个源恰当地通讯到另一个源的方法。在国际标准化组织标准 ISO13373/4 中，包含了表示数据的方法。

机器类型	评定的参数	传感器类型	测量位置	测量方向	ISO 标准	注
采用滑动轴承的大型汽轮发电机组.发电厂	相对振动位移	非接触式传感器	在每个轴承处的轴上	径向+/-45度或 X 和 Y	ISO7919-2	1
	绝对振动位移	非接触式和地震式传感器组合				
	振动速度	振动速度传感器或振动加速度计	每个轴承座处	径向 X 和 Y	10816-2	
	轴的轴向位移	非接触式传感器或轴向传感器	推力环处	轴向 Z		
	相位角和转速	光学或机械式传感器	轴上	径向		
采用滑动轴承的中型和小型工业汽轮机 机械传动 发电厂	相对振动位移	非接触式传感器	每个轴承处的轴上	径向+/-45度或 X 和 Y	ISO7919-3	
	振动速度	振动速度传感器或振动加速度计	每个轴承座和汽轮机机座	径向 X 和 Y	10816-3	
	轴的轴向位移	非接触式传感器和轴向传感器	推力环处	轴向 Z		
	相位角和转速	光学或机械式传感器	轴上	径向		
采用滚动轴承的小型工业汽轮机	振动速度	振动速度传感器或振动加速度计	每个轴承座和汽轮机机座	径向 X 和 Y, 轴向	10816-3	
	相位角和转速	光学或机械式传感器	轴上	径向		
采用滑动轴承的大型和中型工业燃气轮机	相对振动位移和绝对振动位移	非接触式传感器	每个轴承处的轴上	径向+/-45度	ISO7919-4	
	振动速度	振动速度传感器或振动加速度计	每个轴承处	径向 X 和 Y	10816-4	
	轴的轴向位移	非接触式传感器和轴向传感器	推力环处	轴向 Z		
	相位角和转速	光学或机械式传感器	轴上	径向		
采用滑动轴承的水轮机	相对振动位移	非接触式传感器	在选定的轴承处的轴上	径向+/-45度, 垂直 X 和 Y	ISO7919-5	2
	振动速度	振动速度传感器或振动加速度计	每个轴承座和水轮机机座	径向 X 和 Y	10816-5	3
	轴的轴向位移	非接触式传感器或轴向传感器	推力环处	轴向 Z		

	相位角和转速	光学或机械式传感器	轴上	径向		
--	--------	-----------	----	----	--	--

机器类型	评定的参数	传感器类型	测量位置	测量方向	ISO 标准	注
采用滑动轴承的大型泵 锅炉给水泵 循环泵 工艺泵	相对振动位移和绝对振动位移	非接触式传感器	每个轴承处的轴上	径向+/-45度	ISO7919-3	4
	振动速度	振动速度传感器或振动加速度计	轴承座上	径向 X 和 Y	ISO7919-5	
	轴的轴向位移	非接触式传感器或轴向传感器	推力环处	轴向 Z	10816-3	
	相位角和转速	光学或机械式传感器	轴上	径向	10816-5	
采用滑动轴承的中型和小型泵	相对振动位移(不常用)	非接触式传感器	每个轴承处的轴上	径向+/-45度	ISO7919-3	4
	振动速度	振动速度传感器或振动加速度计	轴承座上	径向 X 和 Y	10816-3	5
	轴的轴向位移	非接触式传感器和轴向传感器	推力环处	轴向 Z		
	相位角和转速	光学或机械式传感器	轴上	径向		
采用滚动轴承的中型和小型泵	振动速度	振动速度传感器或振动加速度计	每个轴承座和泵机架处	径向+/-45度, 轴向 Z	10816-3	4, 5
	相位角和转速	光学或机械式传感器	轴上	径向		
立式泵 反应器冷却器 冷却泵	相对振动位移	非接触式传感器	每个可达的轴承座, 泵的上轴承座处的电机/泵轴上	径向+/-45度或 X 和 Y	ISO7919-5	3
	振动速度	振动速度传感器或振动加速度计	电机和每个可达的轴承座处	径向 X 和 Y	10816-5	
	轴的轴向位移	非接触式传感器和轴向传感器	电机轴上	轴向 Z		
	相位角和转速	光学或机械式传感器	轴上	径向		
采用滑动轴承的大型电动机	相对振动位移	非接触式传感器	每个轴承处的轴上	径向+/-45度	ISO7919-3	
	振动速度	振动速度传感器	轴承座上	径向 X 和 Y	10816-3	

	或振动加速度计		Y		
轴的轴向位移	非接触式传感器和轴向传感器	推力环处	轴向 Z		
相位角和转速	光学或机械式传感器	轴上	径向		

机器类型	评定的参数	传感器类型	测量位置	测量方向	ISO 标准	注
采用滚动轴承的中型和小型电动机	振动速度	振动速度传感器和振动加速度计	每个轴承座和电动机机架处	径向 X 和 Y, 轴向 Z	10816-3	5
	相位角和转速	光学或机械式传感器	轴上	径向		
采用滑动轴承和刚性机架的压缩机-离心机组(四缸)	相对振动位移	非接触式传感器	每个轴承处, 高速齿轮箱体和齿轮轴	径向 +/-45 度	ISO7919-3	
	振动速度	振动速度传感器和振动加速度计	每个轴承座处或齿轮啮合处	径向 X 和 Y	10816-3	
	相位角和转速	光学或机械式传感器	每个轴上	径向		
压缩机-离心式工艺压缩机	相对振动位移	非接触式传感器	每个轴承处的轴上	径向 +/-45 度	ISO7919-3	6
	振动速度	振动速度传感器和振动加速度计	轴承座处	径向 X 和 Y	10816-3	
	轴的轴向位移	非接触式传感器或轴向传感器	推力环或轴端触	轴向 Z		
	相位角和转速(如果通过齿轮箱传动的的话)	光学或机械式传感器	轴上	径向		
采用两根连接轴和滑动轴承的螺杆式压缩机	相对振动位移	非接触式传感器	每个轴承处的轴上	径向 +/-45 度		
	振动速度	振动速度传感器和振动加速度计	轴承盖和压缩机壳体上	径向 X 和 Y, 轴向 Z	10816-1	
	轴的轴向位移	非接触式传感器或轴向传感器	推力环处	轴向 Z		
	每根轴的相位角	相位传感器	每根轴上	径向		
采用两根连接轴和滚动轴承	振动速度	振动速度传感器和振动加速度计	轴承盖和压缩机壳体上	径向 X 和 Y, 轴向 Z	10816-1	

的螺杆式 压缩机						
	每根轴的 相位角	光学或机械式传 感器	每根轴上	径向		
采用滑动 轴承的大 型齿轮箱	相对振动 位移	非接触式传感器	每个轴承处 的轴上	径向+/-45 度		
	振动速度 或振动加 速度	振动速度传感器 和振动加速度计	轴承盖和齿 轮箱壳体上	径向 X 和 Y，轴向 Z		
	轴的轴向 位移	非接触式传感器	轴端处	轴向 Z		

机器类型	评定的参 数	传感器类型	测量位置	测量方向	ISO 标 准	注
采用滚动 轴承的齿 轮箱	振动速度 或振动加 速度	振动速度传感器和 振动加速度计	轴承盖和 齿轮箱壳 体上	径向 X 和 Y，轴向 Z		
采用滑动 轴承的大 型径向风 机	相对振动 位移	非接触式传感器 (不常用)	轴承座， 壳体	径向+/-45 度	ISO791 9-3	7
	振动速度	振动速度传感器和 振动加速度计	轴承座上	径向 X 和 Y	10816-3	8
	轴的轴向 位移	非接触式传感器或 轴向传感器	推力环或 轴端处	轴向 Z		
	相位角和 转速	光学或机械式传感 器	轴的径向			
采用滚动 轴承的中 型和小型 风机 离心机	振动速度 或振动加 速度	振动速度传感器和 振动加速度计	每个轴承 盖和风机 壳体上	径向 X 和 Y，轴向 Z	10816-3	
	相对振动 位移	非接触式传感器	每个轴承 处的轴上 (如果可 达)	径向+/-45 度		
	振动速度	振动速度传感器和 振动加速度计	每个可达 的轴承处	径向 X 和 Y	10816-1	
	轴的轴向 位移	非接触式传感器或 轴向传感器	推力环处	轴向 Z		
	相位角和 转速	光学或机械式传感 器	轴上	径向		
匀浆机	相对振动 位移	非接触式传感器	每个轴承 处的轴上	径向 X 和 Y		
	振动速度	振动速度传感器和 振动加速度计	轴承盖上	径向 X 和 Y	10816-1	
	相位角和 转速	光学或机械式传感 器	每根轴上	径向		

附录 A

注 1：在 45 度处正交的位置测量通用于状态监测。垂直和水平(X 和 Y)位置可以变换。

注 2：实际上总是推荐测量直流位移和动态位移两者。由于在水轮机中相当大的轴承径向间隙，使测量直流位移和动态位移两者更重要。

注 3：对于立式机器，应该在最大刚性方向和最小刚性方向两个轴线上测量，通常都在进口位置测量。

注 4：泵振动明显地随运行状态变化而变化。从理论上讲，在最佳效益点(BEP)运行时振动最小。在最佳效率点(BEP)以外的点连续运行，将产生增大的振动。任何情况下，为便于比较，总是应该在相同的运行状态下采集数据。

注 5：通常在中型和小型机器上采用便携式状态监测系统，而不用在线系统。

注 6：如果不是直接耦合，需要两个转速或相位基准。

注 7：在大型轴流式风机上，如果轴承座和驱动轴不可达，需要在风机壳体的 X 和 Y 方向上用振动加速度计测量振动。

注 8：悬臂载荷的结构----只测量主承载轴承的振动。

附录 B

振动传感器的定向和识别的约定

识别振动测量位置的约定(机器信息管理开放系统联盟 MIMOSA)

B.1 前言

下面从现行的标准(例如，美国石油学会标准 API670)，共同的实践提出关于振动传感器定位，类型和定向组合的约定，以及把此约定扩展到与本标准不符的设备(例如立式机器)的约定的两者逻辑组合。

在研究本约定的处理过程中，决定包括赋予诸如轴和附属的齿轮等内部的和辅助的零部件的设备。还提供了识别传感器，固定在机器另一端的原先的轴向振动的方法，这样给定方向机器的运动导致从一个位置处产生正的信号，而从另一个位置处产生负的信号。在后面几节中将详细解释的这些补充在目前的测量位置识别方案中典型地看不到。然而，可以预料它们作为自动专家诊断发展是必要的。在这些补充认为不必要或当前数据中不包括的地方，应该设计软件翻译程序来接纳这些补充，不给用户增加任何负担。应该了解，增加零部件的识别和运动的方向就要增加测量位置约定的复杂性。不需要翻译或者改变格式，满足预期的要求的灵活性充分证明扩展的约定是合理的。

本约定分别规定了测量位置，传感器的类型和定向。然后把六个定义组合为一个单值的，十四个字符(无空格)的，测量位置的识别为如下：

零部件(轴，附属齿轮箱，辊子等)：四个字母数字字符(如果不知道，则为 XXXX)

位置(轴承座号码的指定)：三个数字(001 到 999)

传感器类型代码：两个字母(如果不知道，则为 XX)

角向定向：三个数字(000 到 360°，如果不知道，则为 XXX)

传感器轴线定向：一个字母(如果不知道，则为 X)

运动方向：一个字母(如果不知道，则为 X)

例子：

SFTA003AC090RN(轴 A，轴承座号码 3，位于从零开始逆时钟方向 90°处的单轴线振动加速度计，径向方向固定，正常运动方向)

如下各节中所述的说明例子不可能包括所有的机器位置。然而，如下的原理将完全识别任何机器上的任何测量。

B2. 零部件

由用户规定的四个字母数字字符提供了识别机器的具体零部件为自动诊断便利的灵活的方法。例子中包括了造纸机上的应用，例如：FRNT 表示前；BACK 表示后；一台带轴 A 的电动机，表示为例如，MTRA；一台带轴 B 的泵，表示为例如 PMPB；一台带轴 C 和 D 的齿轮箱，表示为例如 GBXC 和 GBXD；一根特殊的辊子；以及测量识别要求附加的放大的信息的其它零部件。

B3. 轴承座位置

一个数字序列，它识别在其上进行振动测量的具体的轴承座。对于大多数机器，三个数字已足够了。

B3.1 卧式工艺处理和透平机器(透平，电动机，泵，风机，压缩机，相关的变速齿轮箱等)

这个数字序列从非驱动的，不耦合的(外侧)，驱动器端部的轴承座赋予数字 001 开始，朝着被驱动设备，按数字次序排列，直到第一根轴线的最后一个轴承。在多根轴线的(齿轮传动)机器上，轴承座的次序从驱动器开始，按数字次序继续沿着第二根轴线到被驱动器往下排列，接着再沿着第三根轴线往下排列，直到机组的末端为止(图 B-1)。

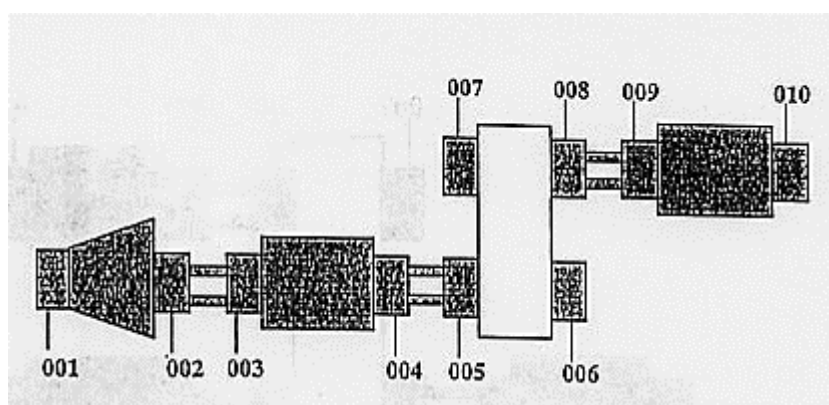


图 B-1 在常规的工艺过程透平机上轴承座的指定

在齿轮箱空转轮或副轴的轴承座遵循从驱动器到被驱动器跨每根轴按相同的数字次序排列指定(图 B-2)。

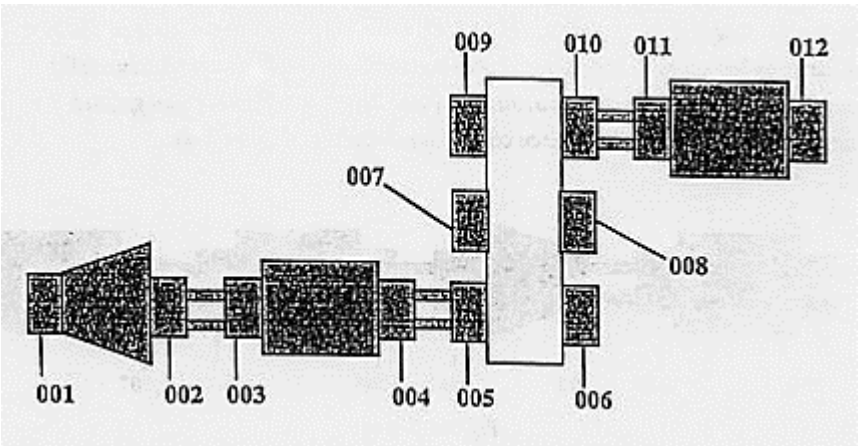
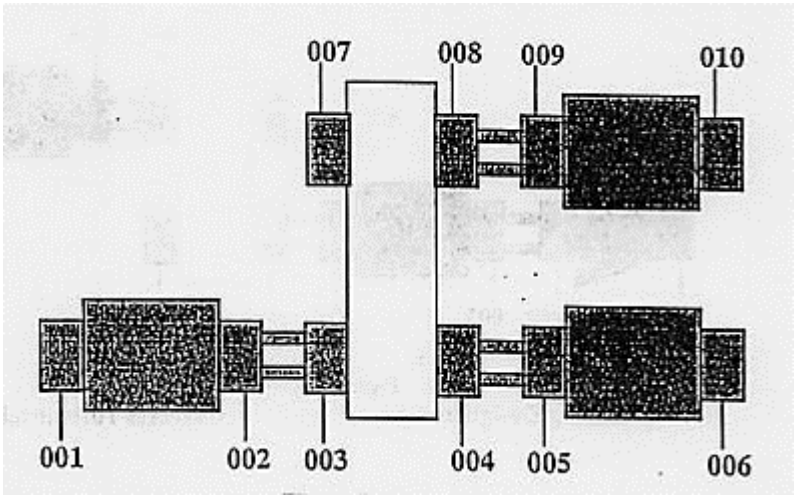


图 B-2 轴承座指定数字的约定，带空转轮的齿轮箱

如果从一台齿轮箱驱动两台或多台机器，轴承座的指定数字从驱动轴往下排列到它的末端，然后，数字移到下一根轴，再从驱动轴往下排列到它的末端。重复这样的



数字次序排列，直到所有的轴承座都被指定数字为止(图 B-3)。

图 B-3 轴承座指定数字的约定，带两根轴或多根被驱动轴的齿轮箱

当驱动机器两端都连接机器时，与驱动器的推力端(通常在汽轮机和燃气轮机的调速器端)耦合的被驱动机器的非驱动(非耦合)端的轴承座通常指定为数字 001。数字次序如前面的排列一样继续往下(图 B-4)。

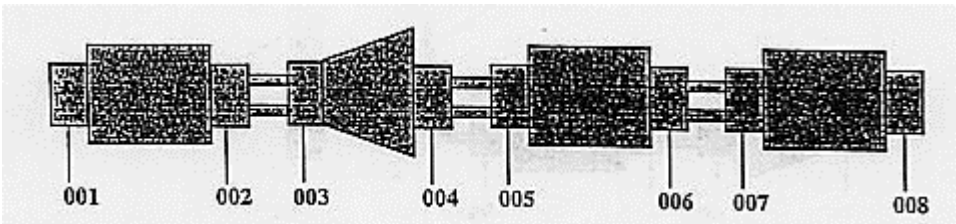


图 B-4 当驱动机器两端都连接被驱动机器时轴承座指定数字约定

B3.2 立式机器

立式机器也遵循同样的约定。最上面的轴承指定数字为 001，沿轴的轴线往下排列数字次序(图 B-6)。

B4. 传感器类型

根据下表用两个字母缩写指定传感器的类型：

AC	单轴线振动加速度计
AV	内部积分的单轴线振动加速度计
AT	三轴线振动加速度计
CR	电流传感器
DP	振动位移传感器
DR	用作相位基准的振动位移传感器
LT	线性电压差动变送器(LVDT)
MP	磁电式传感器(轴转速或相位基准传感器)
MI	话筒
OP	光学传感器
PD	动态压力传感器
PS	静态压力传感器
SG	应变片
TC	温度传感器----热电偶
TR	温度传感器----电阻温度计
TT	扭矩传感器
TO	扭力传感器
VL	振动速度传感器
VT	电压传感器
OT	其它

B 5. 角向定向

当从轴承座位置 001 处看机器时，从位于 3 点钟处的零度基准开始测量振动传感器的角向位置。角度逆时针方向增加(不管轴的旋转方向如何)，在轴平面内从零到 360 度旋转(图 B-5)。

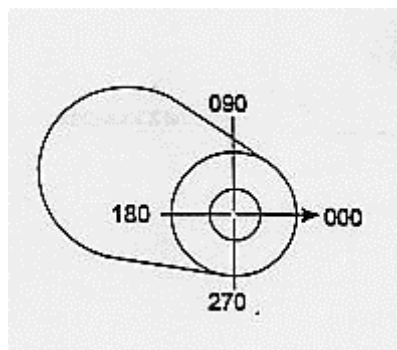


图 B-5 角向定位的约定，卧式机器

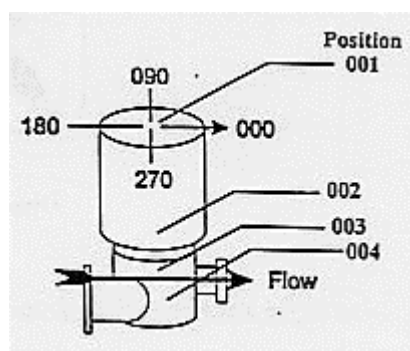


图 B-6 轴承位置和角向定向的约定，立式机器

B 5.2 立式机器

零位基准位于从立式机器的顶上(轴承位置 001)往下看时，在轴旋转平面内，流体流动方向上，逆时针方向测量角向位置(图 B-6)。机器的零位基准与流体流动方向相反，例如泵存储装置，当作发电机那样建立零位基准。

B 6. 传感器(敏感)轴线的定向

一个字母确定振动传感器的敏感轴线的方向。识别的这部分提供了当振动传感器的敏感轴线与前面所规定的径向方向不一致时奇特的描述信息(图 B-7：XXXAC135H，XXXAC090T，XXXAC315A)。当振动传感器的敏感轴线与规定的径向一致时，它便成为多余了。

- R ----径向：振动传感器的敏感轴线垂直于并通过轴的轴线；
- A ----轴向：振动传感器的敏感轴线平行于轴的轴线；
- T ----切向：振动传感器的敏感轴线在轴的旋转平面内垂直于径向；
- H ----水平：振动传感器的敏感轴线仅位于 000 度到 180 度处；
- V ----垂直：振动传感器的敏感轴线振动传感器的敏感轴线仅位于 090 度到 270 度处。

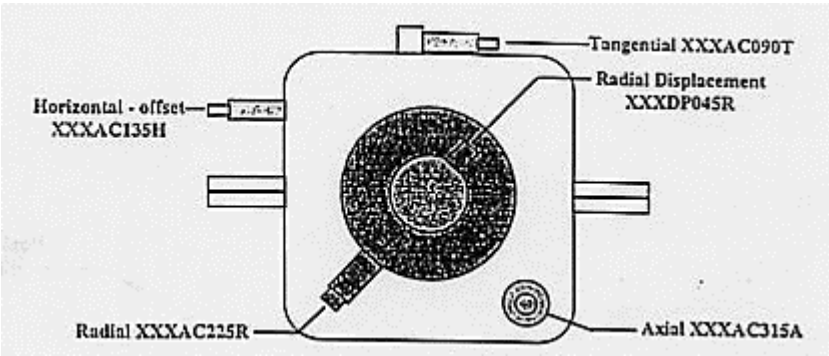
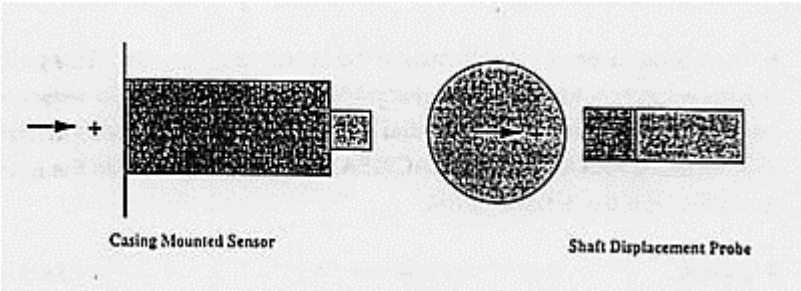


图 B-7 振动传感器轴线的方向

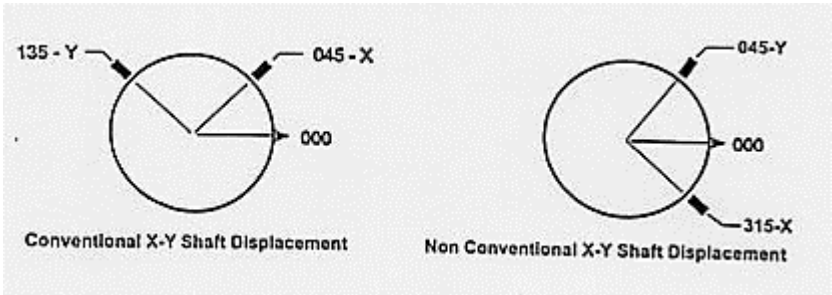
正的信号输出的运动

- a) 把输入振动传感器的运动定义为正的(+), 把从振动传感器输出的运动定义为负的(-)(图 B8)。这是对于固定在机器壳体上的振动加速度计, 振动速度传感器和非接触式振动位移传感器(电涡流式位移传感器)的正常的约定。

图 B-8 运动的约定



- b) 当在 XY 两个位置安装径向振动传感器时, X 传感器位于从位置 1 处看两个传感器之间夹角的径向平分角度的右边(顺时针方向)的 45 度处(不管轴的旋转方向)。Y 传感器位于径向平分角度的右边 45 度(逆时针方向)(图 B9)。利用这个约定总可以得出正确的轴心轨迹旋转方向。



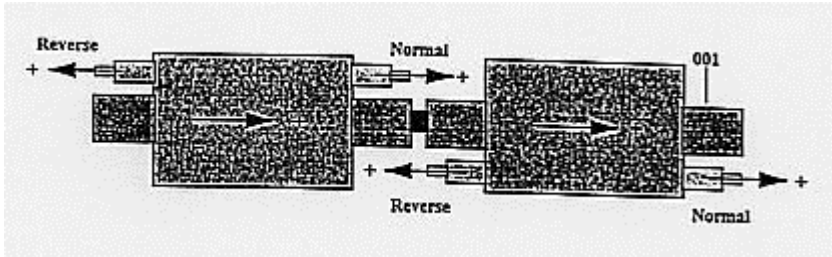
正常的 XY 轴位移

不正常的 XY 轴位移

图 B-9 XY 轴振动位移传感器的约定

B 7. 运动方向

测量位置识别代码中的最后一个字符是 N(正常的)或 R(相反的), 它识别传感器固定在某个方向的机器运动在传感器中产生正的运动(N 为正常的), 在另一个方向机器运动在传感器中产生负的运动(R 为相反的)。固定在机器两端处相反方向的轴向传感器是主要例子, 图 B10。机器朝基准端的轴向运动通常被指定为正的。最靠近机器基准端位置 001 的轴向传感器, 当固定为它朝着传感器的正的运动产生正的信号输出时, 则被指定为正常的(N)。同样, 朝着基准端的运动在另一端处的轴向传感器产生负的信号, 则被指定为 R(相反的)。角度定向确定径向固定的



传感器的运动方向。因此, 缺省值 N(正常的)应该用于径向固定的传感器。

图 B-10 正常的和相反的运动的约定

附录 C

潜在的激振源

C.1 横向振动

机器的横向振动源非常多。这些振动源通常来自于机器零部件的恶化和磨损, 操作异常, 组装不当和维修及设计缺陷。

最常见的振动原因之一是机器转子的不平衡。这将导致机器的转子和静止件的振动。当机器的旋转频率与机器的自振频率之一一致时, 振动变得最明显。把处在转子旋转频率的振动称为 1X 转速频率。通过动平衡转子可以把振动值降低到使激励最小, 这就是要求在一些特定的位置处从转子上加上或减去一定的质量。当转子转速通过机器的每个自振频率时, 振动相位将明显变化。在某固定转速时, 任何测量点处的振动值通常将是常数。

旋转机器中振动的另一个常见原因是不对中。有两种类型的不对中: 内部的和外部的。当两台机器的中心线不重合时, 出现内部不对中。内部不对中的一个例子就是电动机中不均匀的气隙。外部不对中更常见, 当两台或几台互相连接起来的机器的轴中心线偏心或角向偏置时, 便出现外部不对中。不对中在旋转机器中产生额外的力, 出现振动。不对中经常呈现为 1X 转速频率, 2X 转速频率或 3X 转速频率的径向方向振动分量, 与不对中的严重程度有关, 甚至出现较高倍转速频率振动分量。(转速频率的倍数称为 2X, 3X, 4X 等)。

表 C1 包括与旋转频率有关的机器振动的这些和那些常见原因, 给出预期的振动频率特性信息和帮助评定振动故障的其它说明。然而, 必需知道, 还要考虑其它一些频率。

振动原因	振动特征频率	说 明
不平衡	1X, 或一倍转速频率	当转速与转子系统的临界转速一致时, 振动最大。通过临界转速时, 振动相位出现明显变化。一定固定转速下, 振动值是恒定的。
不对中	1X, 2X, 3X	不对中的不同类型和原因: 角向不对中, 平行不对中, 基础移动。轴向振动分量可能像径向方向振动分量那样明显, 尤其对于齿轮传动系统。
轴承磨损, 滑动轴承	转速的 40%至 50%或第一阶转子临界转速	由于磨损, 损坏或组装不当造成的过大间隙可引起作用于转子的轴承油膜的不稳定力。振动值不稳定, 并且可能很快达到很大的幅值。

轴承磨损, 滚动轴承	许多频率, 尤其是转速频率的高阶谐波频率	振动趋向于定位在有缺陷的轴承的频率区域。振动值通常不稳定, 并随着时间延长而增大。
刚性不对称(例如, 发电机或电动机转子绕组的轴向槽)	2X	当 2X 振动频率与转子临界转速一致时, 出现振动尖峰。在一定的转速下, 振动值为常数。在大型机器上, 开补偿槽可使这种振动最小。
弯曲的转子	1X, 2X 或高阶转速频率	如果在联轴器附近转子弯曲, 经常会发现大的 2X 转速频率的轴向振动。在一定转速下, 转子的振动值为常数。
裂纹的转子	2X 转速频率振动值增大并超过 1X 转速频率振动值	说明横向裂纹扩展达到危险程度。
转子上的零部件松动	1X 转速频率和转速频率的谐波频率	振动值可能不稳定, 并且多次升速过程中振动不重复。有时还可发现亚谐波频率。
偏心的或不圆整的轴颈	1X 转速频率和不圆整的轴颈出现转速频率的谐波频率	在低转速下和临界转速时, 振动值异常或过大。在一定转速下, 振动值是常数。
不均匀受热	1X	由于不均匀的转子通风, 绕组电气短路和零部件不均匀的紧度引起的。使转子弯曲, 其振动特性与不平衡相同。
齿轮故障	相应于齿轮的齿通过频率的倍数的非常高频率	要求用具有高频响应的传感器进行检测。
共振	以诸如转子转速等于转子/支承系统的某自振频率的激振频率振动	在每阶机器共振转速时, 出现振动放大, 当转子通过临界转速时, 在 1X 转速频率响应处, 相位角出现大的变化。转子不平衡也是最常见的振动, 它在机器的非旋转系统中产生机器的共振响应。在电机中, 其它主要振动是 2X 转速频率振动, 它来源于转子在定子上感应的电磁力。
摩擦	最常见的 1X 转速频率, 还有 1X 转速频率的倍数频率, 亚同步频率以及自振频率	低转速时, 开始的轻微摩擦可能自己消除。然而, 高转速时, 开始的摩擦可能导致振动急剧变化, 迅速突升到必需停机的程度。有时, 摩擦是由于机器负载加得太快, 或机器内热状态突然变化而造成的。另一些情况下, 摩擦可能由于旋转件与静止件之间的间隙调整得太小, 或运行中零部件偏移的结果造成摩擦。

开始机器状态监测程序时, 建议考虑好所有的, 潜在的振动源, 与有关的操作和设计细节都要考虑到, 列出一张预计的振动分量表。这张表典型地应该包括旋转频率及其谐波频率, 油膜振荡频率和油膜拍打频率, 动叶和静叶通过频率, 齿轮啮合频率, 滚动轴承故障频率等。这张表与基线频谱分量(在条款 5 中讨论)以及监测程序的建立, 报警限, 数据采集时间, 诊断等一起协调使用。

应该知道, 振动频谱分析能提供帮助评定振动故障的重要信息很重要。其它确定因素包括由于转速变化造成的振动相位漂移量, 振动幅值的稳定性及重复性, 主要振动分量相对于机器转子轴线的方向, 还要注意机器上振动最显著处的位置。

C.2 扭转振动

大型汽轮发电机组, 有很广泛的计划得到和计划不到的意外事件, 它们可能会引起发电机与其接线端子相连接的传输设备的电气振荡。在表 C.2 中说明这些意外事件以及导致的机器承受的特征振动频率。每种情况下, 意外事件导致发电机转子振动扭矩, 转而引起轴扭转振动

和其它的旋转件及非旋转件的振动。与弯曲振动相比较，汽轮发电机组的扭转振动的阻尼非常小。这是由于弯曲振动通过压缩油膜的滑动轴承的径向运动获得大的阻尼，而在扭转振动中不存在这种径向运动。

如同在表 C.2 中所看到的那样，网络中如下瞬变扰动后，汽轮发电机组的扭转振动响应将是低衰减率的多模态。通常频谱表示大多数响应是较低阶模态，还带有某些电气振动频率(通常是电气传输系统频率的第一和第二谐波频率)。

在电气网络中，还有一些状态，它可以从发电机转子引起相当低的，但是连续作用的扭转振动(例如不交叉的传输线，不平衡的负载等)。最常见的在这些状态下，发电机转子振动的主要频率是轴系以电气系统频率的两倍频率振动。这个频率高到足以激起相当高阶的汽轮发电机组扭转系统振型。这些振动模态很复杂。需要精益求精的振动模型去表示与汽轮机转子扭转振动耦合的低压汽轮机叶片的可能的弯曲振动。现代大型汽轮发电机组设计使它们能承受电气网络的干扰，所以，极少采用扭转振动监测。

振动原因	振动特征频率	说 明
传输网络电气故障，包括电路保险丝故障	以扭转自振频率和电气系统频率的倍数频率	瞬变响应。小阻尼的轴多模态扭转振动响应。
发电机内部电气故障-端子短路	以扭转自振频率和电气系统频率的倍数频率	瞬变响应。小阻尼的轴多模态扭转振动响应。
发电机对电气网络的不同步	以扭转自振频率和电气系统频率	瞬变响应。小阻尼的轴多模态扭转振动响应。
计划到的线路开关意外故障	以扭转自振频率和电气系统频率的倍数频率	瞬变响应。小阻尼的轴多模态扭转振动响应。
波动的负载，例如发电厂附近电弧炉产生的	以扭转自振频率响应	瞬变响应。小阻尼的轴多模态扭转振动响应
传输系统相位不平衡或不交叉的线路	以电气系统频率的两倍频率的强迫稳态响应	在两倍电气系统附近的机械模型可能包括轴扭转振动与汽轮机叶片弯曲振动的耦合
亚同步共振	以汽轮发电机亚同步自振频率的不稳定的振动	由于电气网络中的电气共振(串联电容补偿线路)或直流传输的控制设备不正常引起的。
低转速时滑动轴承与轴颈相摩	以扭转自振频率响应	小阻尼多模态响应。
升速过程中同步电机的脉冲力矩	以扭转自振频率响应	升速过程中转子通过每阶扭转自振频率时振动最大
驱动交流和直流电动机的交流-直流变换器振动	以电气系统频率的谐波频率的响应	稳态强迫振动响应

文献目录

ISO2954 , Mechanical vibration of rotating and receiprocating machinery-requirements for instruments for measuring vibration severity
旋转机器和往复机器的机械振动----测量振动烈度的仪器的要求

ISO5347(all parts) ,Methods for the calibration of vibration and shock pick-ups
振动和冲击传感器的标准方法(全部)

ISO10817-1 , Rotating shaft vibration measurement systems----Part1: Relative and absolute sensing of radial vibration
旋转轴振动测量系统----第一部分：径向振动的相对和绝对测量

ISO/CD13373-1 机器的状态监测和故障诊断----机器的振动监测

ISO10817-2 , Rotating shaft vibration measurements systems----Part 2 : Signal processing

旋转轴振动测量系统----第二部分：信号处理

ISO13372 , Terminology for the field associated with condition monitoring and diagnostics of machine

机器状态监测和诊断有关的术语

ISO13377 , Vibration condition monitoring instrumentation

振动状态监测系统

ISO13378 , Vibration condition monitoring transducers

振动状态监测传感器

API670 , Vibration, axial-position and bearing-temperature monitoring systems

振动，轴向位置和温度监测系统

ASME OM-14, Guidelines for vibration monitoring of rotating equipment

旋转设备振动监测指南

MIMOSA VB-001 Machinery information management open systems alliance, "Conditions for identifying vibration measurement locations"

机器信息管理开放系统联盟

识别振动测量位置的约定

VDI 3841 , Vibration monitoring of rotating machinery-----necessary measurements

旋转机器的振动监测----必要的测量