

## 加速度传感器安装共振所引起的频率限制

Jack D. Peters 彭杰克, 连接技术中心有限公司

### 介绍:

加速度传感器是当今最好的用来检测机器振动和辅助分析人员诊断机器产生的潜在问题的诊断型传感器. 机器故障例如不平衡, 不对中, 轴承故障, 齿轮故障, 流动扰动或叶片气流扰动等问题都可以利用加速度传感器来进行检测. 所有这些故障都是通过加速度传感器同机器表面接触来传感的.

从机器到加速度传感器的振动传递受到传感器的安装方式影响. 糟糕的安装方式可能会严重地限制加速度传感器的设计测量振动的能力. 通常工业加速度传感器能有高至 15 千赫兹 (15,000 周期/秒) 或 900,000 CPM (周期/分钟) 的频率范围. 想达到测量频率范围的上限值, 传感器必须安装固定得非常好以避免”安装共振”.

安装共振是加速度传感器固有频率减低的直接结果, 它随传感器的硬度降低或质量增加而产生. 这个现象可以用下面的表达式来解释, 分子代表了硬度, 分母是质量:

$$f_n = [1/(2\pi)] \sqrt{k/m}$$

其中:

$f_n$  = 固有频率

$k$  = 硬度

$m$  = 质量

## 加速度传感器的固有频率:

加速度传感器的起初设计和结构有一个高于可用范围的固有频率. 这样使它能有一个 $\pm 5\%$ ,  $\pm 10\%$ , 或  $\pm 3\text{dB}$  的公差范围. 硬度是通过加速度传感器内的压电材料来达到的. 用来给压电元件施加压力, 并提供励磁的机械部分的质量的大小是由期望得到的频率输出决定的. 轻一点的质量可以提供高的固有频率, 反之重一点的质量可以提供低的固有频率. 显然, 质量轻产生的压力小, 质量重产生的压力大, 所以质量大小是由频率和幅度特性所取决.

图 #1 是一个典型加速度传感器的固有频率响应. 传递区, 共振产生的放大区, 以及屏蔽区域都给予明显的标注.

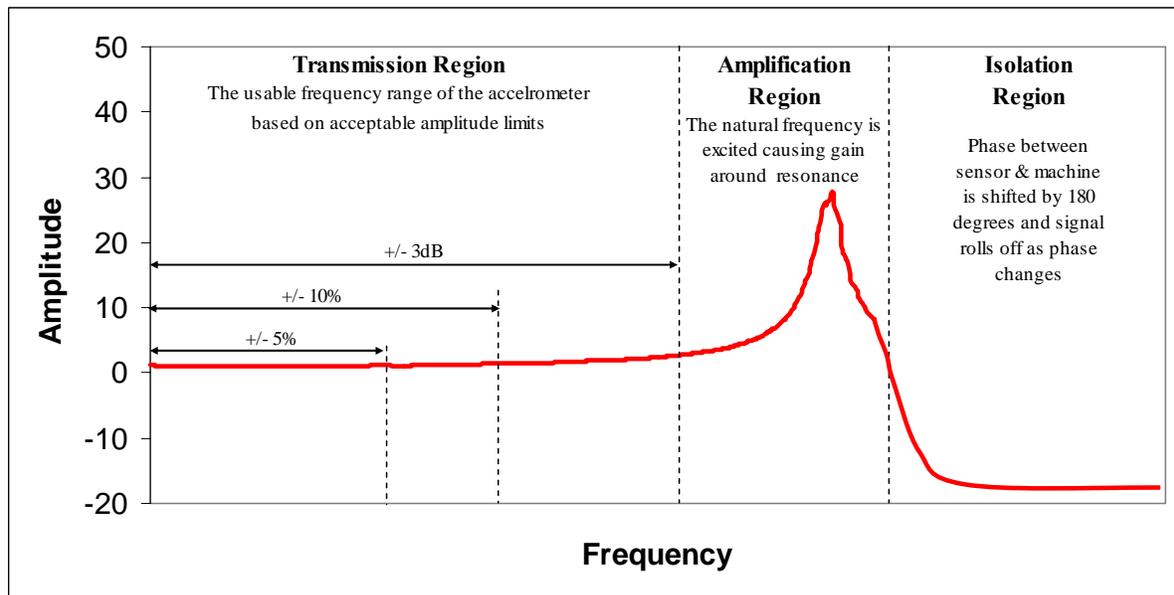


图 #1 – 典型加速度传感器的固有频率响应

## 功能:

传递区是加速度传感器的功能区域. 这个区域的精度是用 $\pm 5\%$ ,  $\pm 10\%$ , 和  $\pm 3\text{dB}$  的幅度公差来表示. 尽管  $\pm 5\%$  代表最佳幅度公差, 它却也有最小的传递区域. 最大的传递区域发生在 $\pm 3\text{dB}$  幅度公差范围, 但如果要用线性单位来表达这个值, 它大概在 $-29.3\%$  或  $+41.3\%$  的幅度公差 范围. 起初 $\pm 3\text{dB}$  公差看起来好象太大了, 但它在工业界应用却一直极为成功. 这些公差值是在制造加速度传感器时产生的, 并且在加速度传感器没有被损坏的情况下会一直保持不变. 因为大部分程序是依靠历史趋势, 并不靠绝对幅度,  $\pm 3\text{dB}$  的公差在应用中是可以接受的.

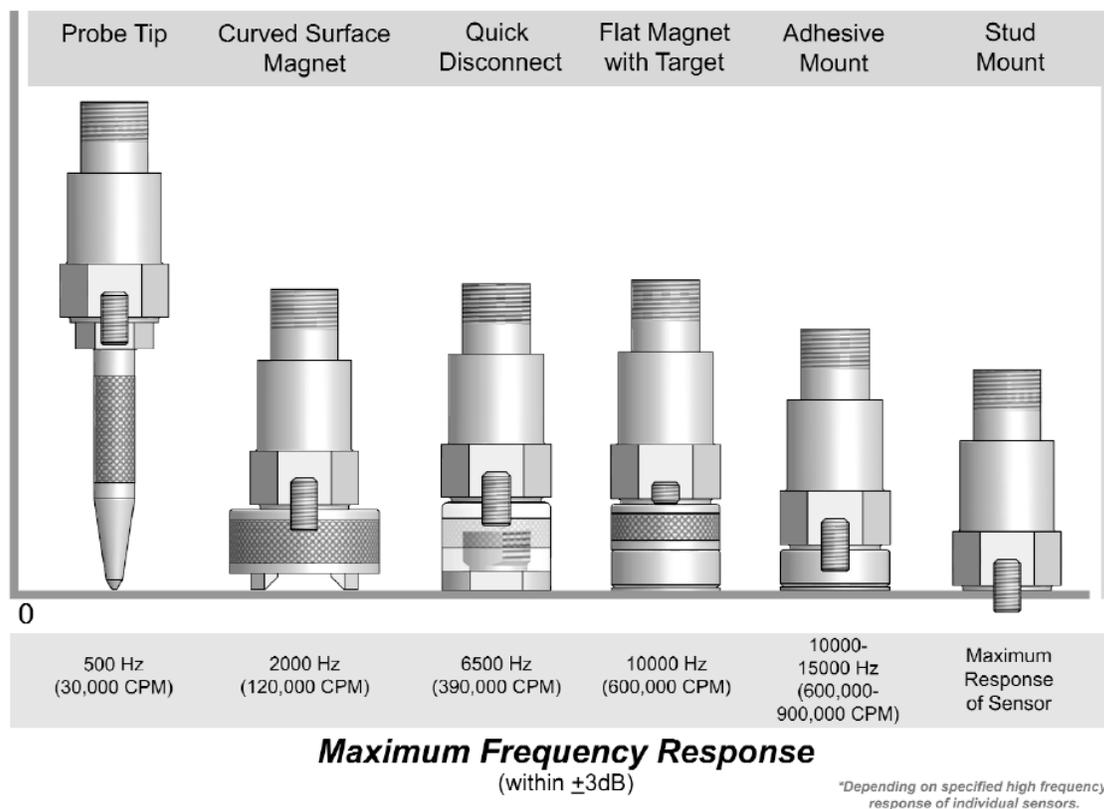
放大区是固有频率的励磁和共振的直接结果. 这个区域有能力在振动信号中产生非常大的增益. 这会使振动信号看起来比真实情况大得多. 通常, 在放大区域的数据不被采用, 因为它的不可重复性. 有些技术确实有用到放大区域的高频检测来得到对机械故障的早期预警, 但是我们这次先不讨论这个方面, 最好把它留给应用到不同程序的振动仪器制造商们.

屏蔽区是指有变相和信号损失的区域.  $180$  度变相发生在共振通过后. 在固有频率以外的范围工作将会发生振动幅度及相位的错误.

## 安装共振:

在理想环境下, 加速度传感器的安装应该能提供整个传递区. 尽管每个分析人员都希望能达到这个极好的目标, 它的实现却完全依靠所采用的安装方式. 请记住加速度传感器的固有频率是同硬度和质量有关, 任何能影响这些传感器特性的安装方式都会使其固有频率受到改变. 不幸的是, 共振的变动总是会降低加速度传感器的可用频率范围. 因此别认为加速度传感器坏了, 或者不如设计指标那么好, 只是它在安装过程中特性被改变了.

可用的安装方式有很多种, 图#2 显示了传感器生产厂家指示的一些安装方式, 以及期望从到传感器上得到的机器振动信号的可用频率范围.



图#2 – 安装方式和可用的频率范围

图#2 中的有些安装方式相对其它使用得频繁些, 我们的研究会分析每种安装共振所引起的变化.

曲面磁性安装, 有时也称为两栅或两极磁铁安装, 可能是便携式振动测量最普遍的一种安装方式. 它适用安装在轴承外壳上, 并能让振动分析人员迅速地将传感器安装在轴承垂直, 水平, 或轴相位置上. 通常曲面表面磁铁可以提供达到高达 2000 赫兹的振动传递区.

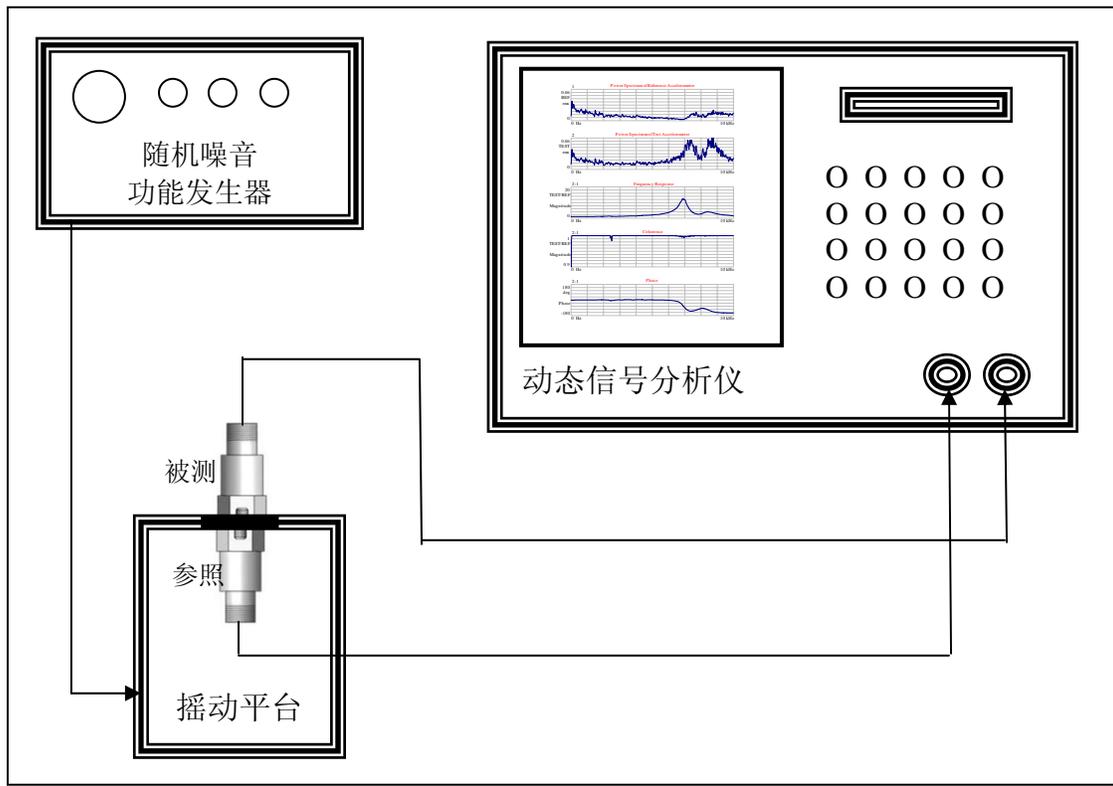
柱头安装方式要求有光滑的带转孔或螺纹的机器表面. 这种类型的安装方式最适用于对机器进行永久性振动监测的情况, 这时加速度传感器将被安装并留在每个要被检测的机器上. 这也经常被泛指为参照安装, 因为它能提供可用的振动传递区, 通常能达到加速度传感器的测量极限.

### **对两种安装方式的分析:**

为了要分析这两种加速度传感器的安装方式, 我们需要用到一些振动仪器或技术来模拟机器振动.

- 一个摇动平台, 内置校准过的标准参照加速度传感器, 用来模拟机器振动. 它能为整个测试提供需要的受控制的振动扰动的频率范围. 参照加速度传感器将被当作输入信号, 同被测传感器(输出)进行比较. 本次使用的摇动平台的上限是 10,000 赫兹.
- 一个功能发生器将会被用来驱动摇动平台以产生随机的噪音并模拟多种常用的工业机器的振动干扰. 只产生一种振动或频率干扰的机器是很少见的, 而且随机噪音可以更好的模拟实际的工业机器振动情况.
- 将被测的加速度传感器按期望的安装方式安装在摇动平台上.

- 使用一个动态信号分析仪来采集数据,并以五种方式显示测试数据结果.
  - 1) 参照传感器的功率频谱(FFT),显示幅度相对频率的值.(输入)
  - 2) 被测传感器的功率频谱(FFT),显示幅度相对频率的值.(输出)
  - 3) 频率响应,参照传感器的输入信号除以被测传感器的输出信号的值.理想的振幅响应应该是一(一致增益)值,但它同时也显示共振所产生的增益.
  - 4) 数据的一致性表明测试加速度传感器的输出相对于参照加速度传感器的输入的百分比.通常也被称为线性因果关系.
  - 5) 两个加速度传感器之间的相位.参照加速度传感器和测试加速度传感器的相互关系在共振发生之前应该是相同相位.在共振发生后,这两个传感器应该不同相位.

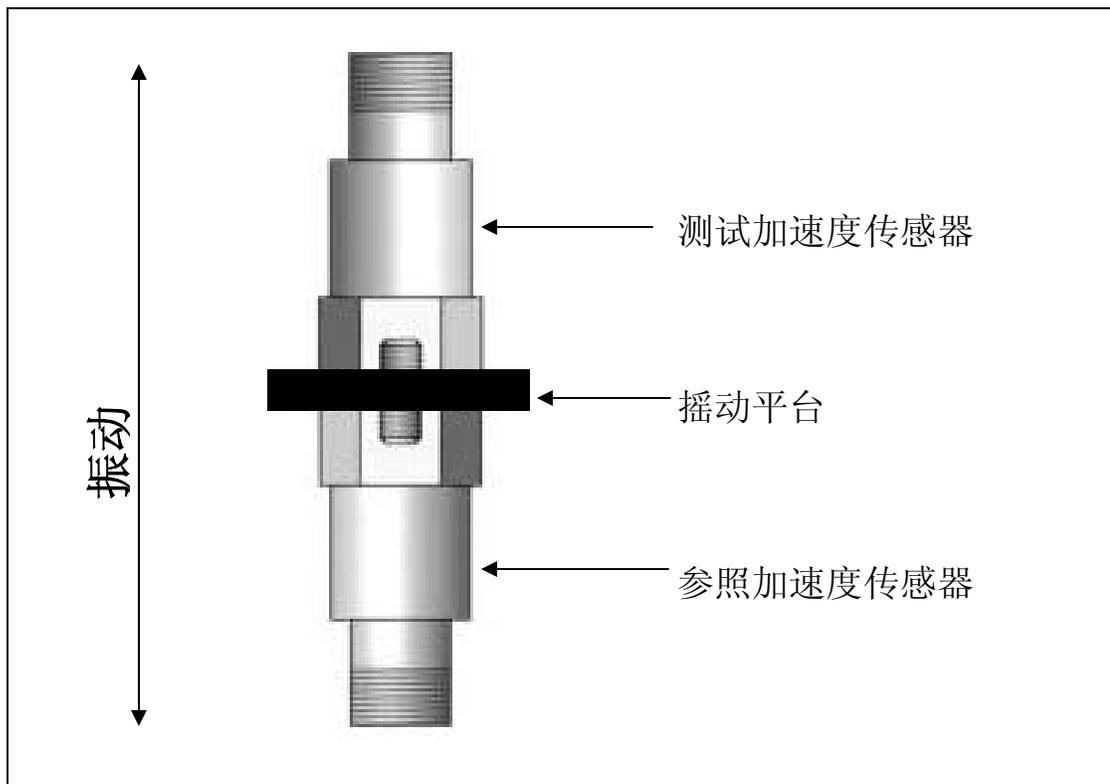


图#3 - 测试设置

如图#3 所示, 随机噪音发生器提供了驱动摇动平台的电子信号. 参照加速度传感器是固定在摇动平台内的, 而测试加速度传感器安装在摇动平台的上面. 参照加速度传感器的信号施加在动态信号分析仪的一号频道, 而测试加速度传感器的信号施加在动态信号分析仪的二号频道. 一号频道和参照加速度传感器将被当作测试过程的输入信号. 二号频道和测试加速度传感器将被当作测试过程的输出信号. 采用测试安装方式将两个加速度传感器安装连接好, 并且比较输入输出值.

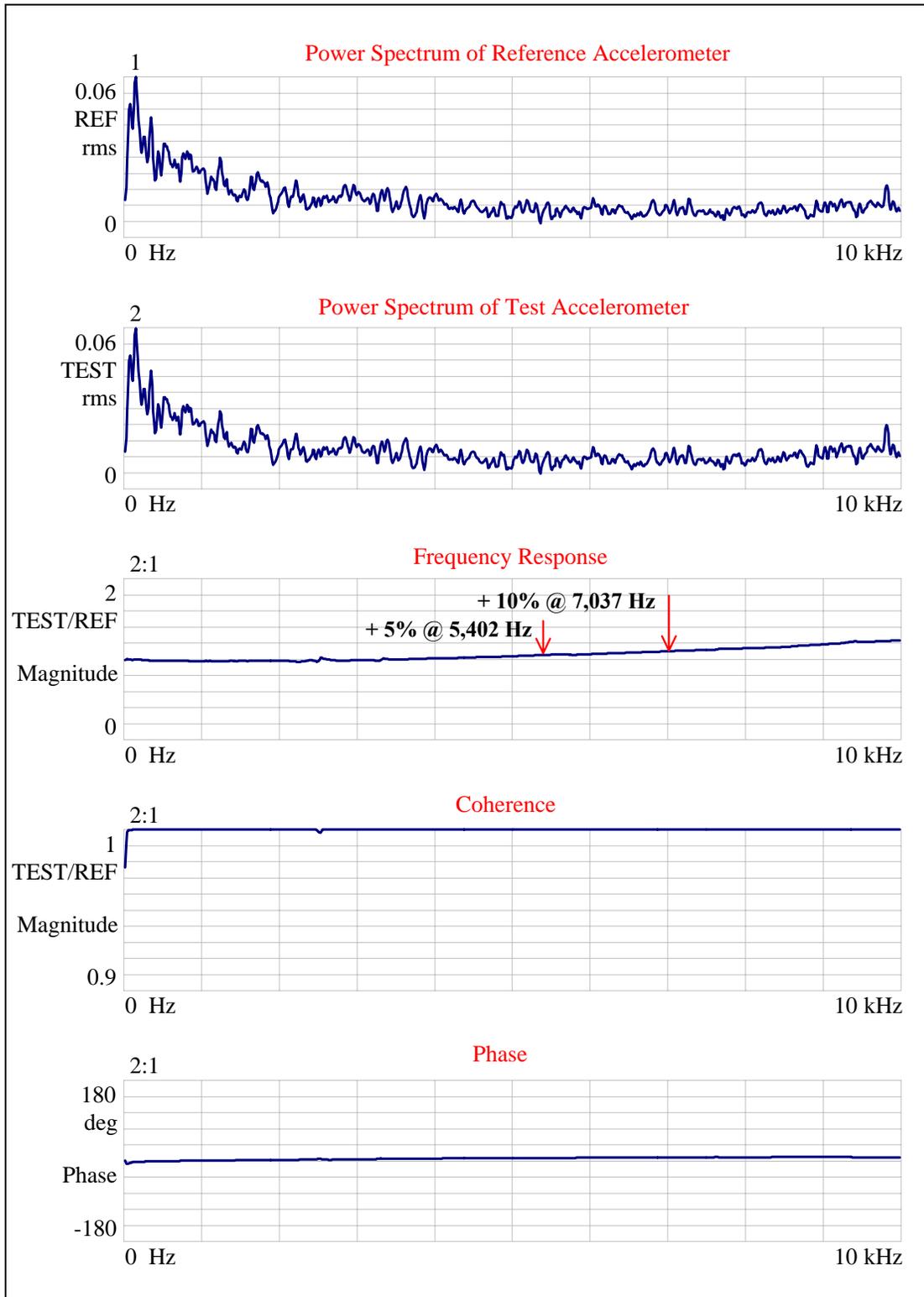
## 柱头螺栓安装:

柱头螺栓安装方法利用钻孔螺纹连接加速度振动传感器和设备。在测试和调试的时候，通常也称之为“背对背”安装。传感器通过螺栓连接在一起，中间是摇动平台。图#4显示了背对背的安装技术。



图#4 - 背对背加速度传感器安装在摇动平台上

随机噪音 0 - 10,000 赫兹会引起摇动平台同时震荡（振动）两个传感器。这样可以  
使用动态信号分析仪来对比两个传感器的信号。图#5 显示了使用背对背安装方法的结  
果。



图#5 - 背对背安装的结果

图#5 所示的数据分析说明了参照加速度传感器和测试加速度传感器的功率频谱几乎相同。频率和幅度也和功率频谱相匹配。

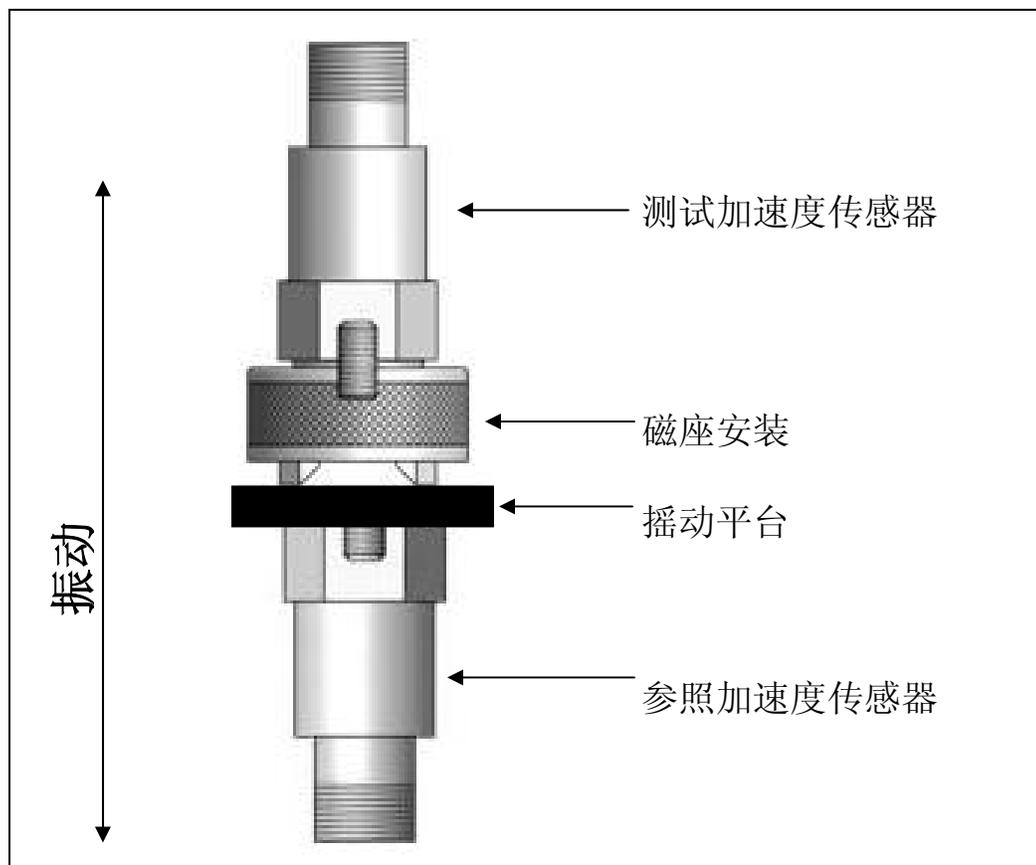
频率响应大概有一倍增益, +5% 限制在 5,402 赫兹, 及 +10% 限制在 7,037 赫兹. 结果都没有超过 +3dB 的极限. 这样可以提供在 3dB 极限以内高达 10,000 赫兹的传递区, 甚至可能更高如果测试是在测量范围和摇动平台的能力范围内.

数据的一致性很好, 表明了 100% 的加速度传感器振动的测量数据来源于摇动平台和参照加速度振动传感器.

两个传感器的相位相同表示他们都在共振频率以下工作.

#### **磁性安装:**

曲面磁座上的加速度传感器是依靠柱头螺栓来连接. 然而, 当安装到设备上测量振动值的时候则采用两根磁条. 振动的传导是通过两条接触面和磁力. 这样提供了有限的接触面积和硬度. 磁体本身也很大程度上增加了加速度传感器的质量. 硬度的减小和质量的增加会导致传感器和磁座的共振频率的降低. 安装共振频率也会比没有带磁座的加速度传感器更低. 图#6 显示了用于测试的磁性安装和参照加速度传感器.



图#6 - 磁座安装加速度传感器在摇动平台上

施加在摇动平台上的随机噪音频率范围在 0 - 10,000 赫兹. 使用磁座安装的方法来进行和前面提到的柱头螺栓安装相同的测量. 图#7 表示磁座安装的测量结果.

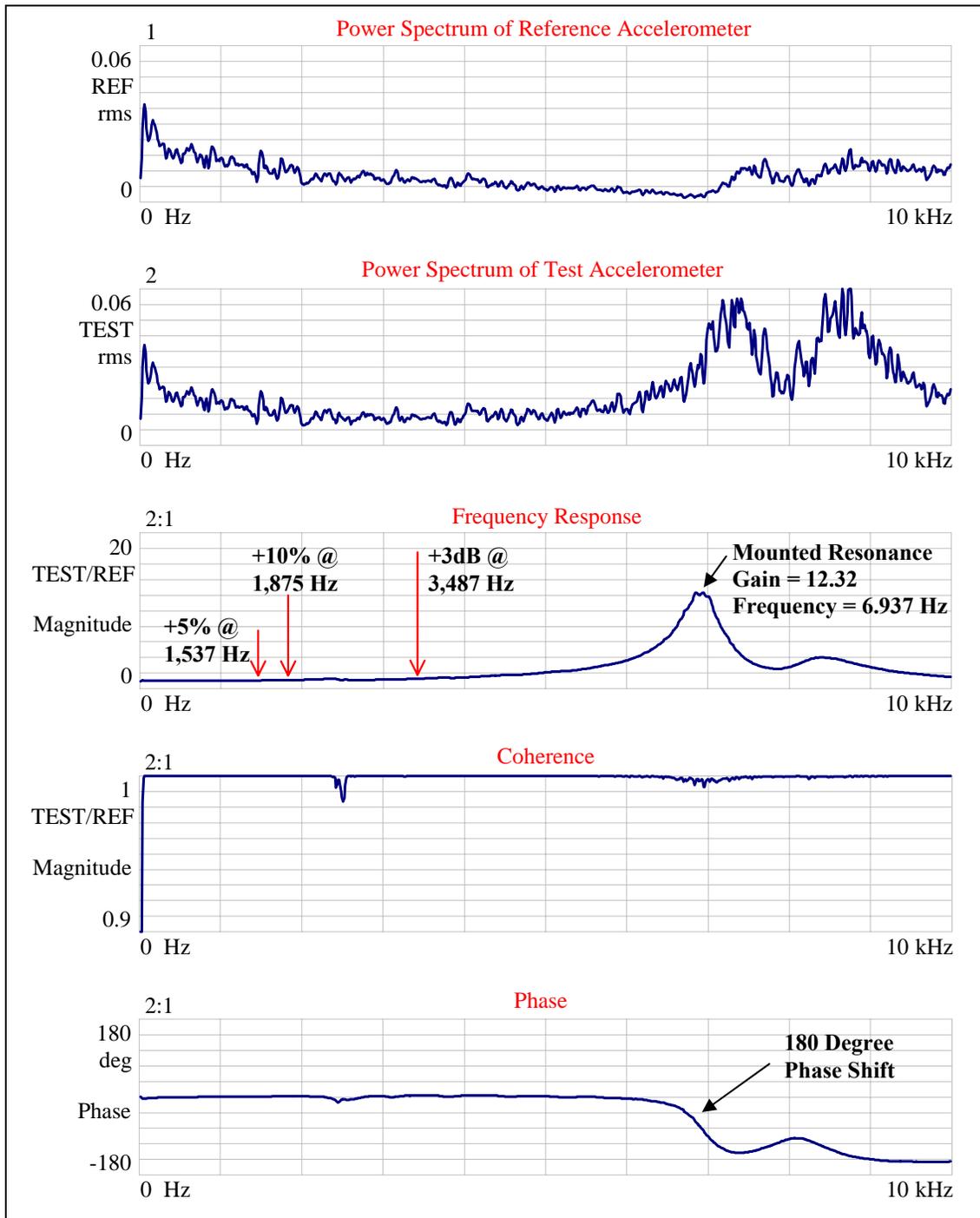


图 #7 - 磁座安装的结果

图#7 所示的数据分析说明了参照加速度传感器和测试加速度传感器的功率频谱有很大的不同. 测试加速度传感器的频幅比较高, 超过 5000 赫兹.

频率响应也因传导范围而有所限制, 低于共振频率 6,937 赫兹. +5% 的极限是 1,537 赫兹, +10% 的极限是 1,875 赫兹, +3dB 的极限是 3,487 赫兹. 6,937 赫兹的共振频率带有 12.32 的增益. 如果 1 英寸/秒的振幅施加在摇动平台上, 频率是 6,937 赫兹, 则安装共振会引起测试加速度传感器的输出大概为 12.32 英寸/秒.

数据一致性很好, 表示 98% 的测试加速度传感器的振动测量值是由摇动平台和参照加速度传感器引起的. 需要注意的是, 信号的振幅显示为频率响应, 数据一致性也被称为因果关系的测量.

两个传感器在小于 6,937 赫兹 的频率下相位相同, 但高于 6,937 赫兹则相位不同. 在共振频率之上的时候, 如果测试加速度传感器测量正值信号, 则参照加速度传感器测量的是负值信号. 从根本上看, 高于共振频率的时候它们的相位不同.

## 总结:

想要使图#1 中的典型性能同图#7 的实际结果相匹配是很困难的. 安装方式, 系统性能, 以及共振频率响应的广度上有微小的不同, 都会影响实际测量和典型的性能指标的直接关联性. 振动分析人员每天都要面对这些小的不同性. 但是这并不代表测试结果不可用, 事上传感器的典型性能是能很好地用试验结果来表达的.

背对背的安装方式提供了一个很宽的频率传递区域,而且甚至在 10,000 赫兹区域信号都没有超过+3dB 的极限. 这清楚地表示了用柱头螺栓安装方式将传感器安装在机器上能提供最好的频率响应,并且它是永久性安装传感器最理想的方式. 在经过处理过的钻孔和螺纹的平整机器表面上安装加速度传感器柱头螺栓,应该能达到传感器设计性能指标的全频范围.

曲面磁座安装方式通常建议使用在 2,000 赫兹的频率范围下的应用情况. 测试研究表明实际值在 3,487 赫兹的时候达到+3 dB 的极限. 这个改良结果很可能是因为摇动平台的平整表面而产生. 同线性接触的接触方式相比,两条磁铁的方式大大增加了同机器轴承外壳上的接触面积,并且提高了硬度. 安装共振被确认了,而且传递区域范围也明显减小了. 尽管曲面磁座安装方式在便携式振动测量是非常有效和方便,用户需要注意到频率响应是有受限制的,安装共振振幅也会比预期的要高,并且高于共振振幅的频率则会比预期的要低而且不同相位.

市场上还有其它的便携式安装方式能提供提高的频率传递区域,如快速连接或平面磁座传感器就是极好的例子. 然而,这些传感器的设计要求它们的安装表面经过处理并且对永久目标进行安装时应该尽可能取得最大的接触表面和硬度. 如果便携式数据采集要求测量 2,000 赫兹以上的振动,那么就可以考虑使用这些安装方式.

## 参考书目:

- *应用动态信号分析仪进行有效的设备测量*, 应用说明 243-1, Agilent 技术
- *压电加速度振动传感器和振动放大器的理论和应用手册*, Bruel & Kjaer
- *冲击和振动手册*, Cyril M. Harris

## 作者介绍:

**Jack D. Peters 彭杰克**是连接技术中心有限公司(CTC)的区域销售经理。他负责的区域包括亚太地区，加拿大和南非等等。他拥有超过 25 年的感光胶片和相纸生产设备的制程振动问题的测量，监控和分析的经验。目前他在 CTC 公司主要负责技术领导，分销商培训，技术支持和客户应用工程等。**Peters** 先生还是联邦振动协会的老师，纽约中部振动协会前任主席，以及经过 ISO 18436-2 认证的四级振动分析师。

Jack D. Peters 彭杰克  
连接技术中心有限公司  
地址: 590 Fishers Station Drive  
Victor, New York 14564

电话: 585-924-5900 x834  
电子邮件: [jpeters@ctconline.com](mailto:jpeters@ctconline.com)