



机械振动初学者指南

车震 (译) 常英杰 (校)

修订 21/06/05

COPYRIGHT © 2004 by Commtest Instruments Ltd.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted, in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording, or otherwise, without the prior written permission of Commtest Instruments Ltd. For information, contact:

Commtest Instruments Ltd
28-b Moorhouse Avenue
Christchurch
New Zealand
E-mail help@commtest.com

Printed in New Zealand.

Disclaimer

Information in this document is subject to change without notice. Names and data used in examples are fictitious unless otherwise noted. This document is distributed as is, without warranty of any kind, either expressed or implied, respecting the contents of this document, including but not limited to implied warranties for the document's quality, performance, merchantability, or fitness for any particular purpose. Neither Commtest Instruments Ltd nor its employees, dealers, or distributors shall be liable to the user of this document or any other person or entity with respect to any liability, loss, or damage caused or alleged to be caused directly or indirectly by this document.

Trademark Notice

vb™, vb1000v™, vb1000™, vb2000™, vb3000™ and PROFLASH™ are trademarks of Commtest Instruments Ltd.

vbSeries® and Ascent® are registered trademarks of Commtest Instruments Ltd. Other trademarks and registered trademarks belong to their respective owners.

目录

前言	1
第 1 章 为什么监测机械振动重要?	2
什么是机械振动?	2
什么引起机械振动?	4
(a) 往复力	5
(b) 松动	7
(c) 共振	8
为什么监测机械振动?	10
(a) 严重的机械损害	11
(b) 高功率消耗	11
(c) 机械的不可用	12
(d) 运输延迟	12
(e) 未完成货物的堆积	13
(f) 不必要的维护	13
(g) 质量问题	14
(h) 糟糕的公司形象	14
(i) 职业危机	15
总结	15
第 2 章 如何描述机械振动?	16
如何描述振动?	18
什么是幅值?	18
什么是频率?	22
什么是波形?	23
什么是频谱?	24
总结	26

第 3 章 怎样测量机械振动?	27
哪些机械需要监测?	28
仪器怎样工作?	29
如何安装加速度计?	30
(a) 尽可能靠近轴承安装	31
(b) 确信加速度计联接牢固	32
(c) 确信加速度计方向正确	34
(d) 在相同位置安装相同的加速度计	35
(e) 在坚固物体上安装加速度计	35
(f) 加速度计的维护	36
(g) 注意人身安全	37
如何设置参数?	37
(a) 如何采集数据?	39
(b) 采集多大或多快的数据?	39
F _{max} 值应设为多少?	40
应当使用多少谱线?	41
应使用多大叠加百分比?	42
(c) 如何处理数据?	42
(d) 如何显示数据?	44
如何采集数据?	48
总结	53
附录:符号列表	55
一般振动术语	57
术语表	59

前言

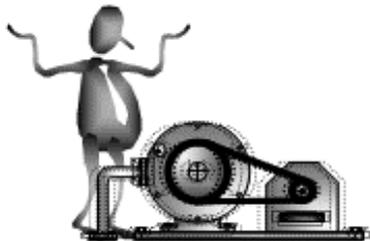
在 **Commtest Instruments** 公司，我们知道振动监测是一项简单和不费力的任务——不是什么神秘艺术。我们所著《机械振动初学者指南》提供你们所需的关键信息，以便为你们使用 **VB** 振动监测仪器增加更多利益。

工程师、技术人员、机器操作人员和管理人员将很快掌握本书提出的概念。我们避免使用复杂的数学和物理公式，仅为了基本的机械监测集中精力于必须的原理概念。本文仅配以简单的图表并且使用浅显的语言。

一旦你装备了 **VB** 振动监测仪器并阅读了几遍《机械振动初学者指南》后，我们有信心你能进行基本的振动监测。欢迎你对本指南提出任何建议。

本书中的符号、单位、缩略语在附录中进行解释说明（55 页）。

第一章 为什么振动监测重要



监测机械振动并利用你获得的信息会为你节省金钱！

这可能吗？

我们将在本章回答这个问题。阅读本章后你将：

- 理解机械振动这个术语
- 了解机械振动的一些常见原因
- 解释监测机械振动的理由
- 理解监测机械振动怎样节省资金

什么是机械振动？

我们大部分人都很熟悉振动——一个振动的物体会前后运动。一个振动物体处于**振荡**状态。

在我们的日常生活中振动实例处处可见，一个运动的钟摆处于振动状态，被拨动的吉他弦产生振动，行驶在颠簸路面的汽车不断振动，地质活动引发大面积的振动形成地震。

我们可通过各种方式感受物体的振动，我们能接触一个振动物体并感受其振动，我们也可看到一个振动体的前后移动，有时振动可以产生能听到的声音或能感觉到的热。



在工厂有一种振动是我们关心的：机械振动。

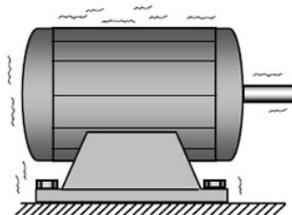
什么是机械振动？机械振动就是**机械或机械部件的前后运动**，一些部件前后运动或摆动就是在振动。

机械振动可以呈现出各种形式，一个机械部件可能产生大位移或小位移的振动，快或慢的振动，可感知或不可感知的热或声音的振动。机械振动可以被设计来实现一定的功能，除此之外，其他情况下机械振动可能是非期望产生的并导致机械损害。

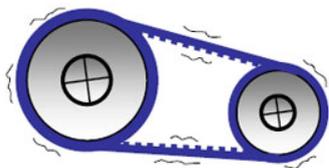
多数情况机械振动是非人为原因产生的并不合需要的，本书是对**非期望的机械振动**监测的一本书，下面是一些非期望的机械振动的示例：



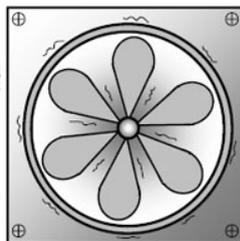
振动的泵



振动的电动机



振动的皮带



振动的风扇

引起机械振动的原因是什么？

几乎所有的机械振动是由于下面的一个或多个原因引起：

- a) 往复作用力
- b) 松动

c) 共振

(a) 往复作用力

想象一艘船停泊在海湾中，波浪正拍打着船的两边，只要波浪在船上持续作用，我们能够期待船将会摇动。

船将摇动因为波浪对其施加一个**往复的力**——某种模式的反复施加的力。

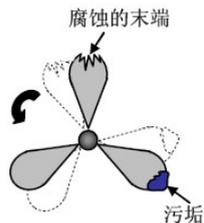
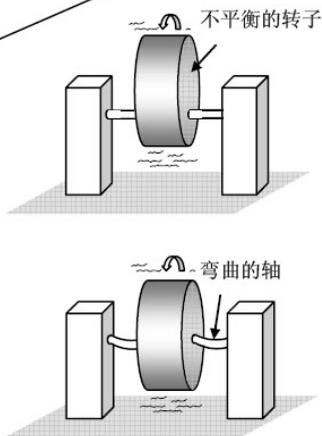


许多机械振动都因类似于那种引起船摇动的往复力而起，象这样的往复力作用于机器部件并且引起机器振动。

引起机械振动的往复力来自那里呢？

在机器中**往复力**的产生**多因不平衡旋转、不对中、磨损**或对机械部件的**不合理驱动**。下面显示的是这四种类型往复力的例子。

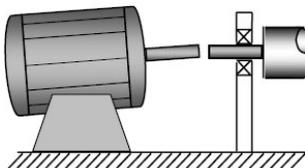
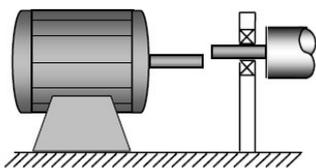
不平衡的机器部件上含有“重点儿”，在旋转中对机器施加一往复力，不平衡经常由机器缺陷引起。不同的材料密度、螺栓尺寸的变化、铸件的气穴、丢失的平衡重块、不正确的平衡措施、不均衡的电动机绕组以及断裂、变形、腐蚀或脏的扇叶。



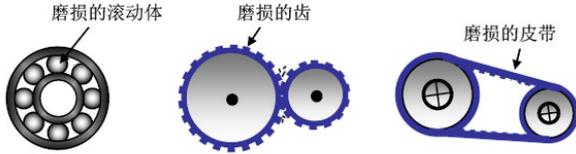
不对中的机器部件产生“弯曲运动”，当旋转时对机器施加一往复力。不对中经常被诸如不精确的装配，不平的地面，热膨胀，夹紧扭矩引起的变形和联轴器的不当安装造成的。

平行不对中

角不对中



磨损的机器部件因不平磨损表面间的摩擦对机器施加一往复力。滚动轴承、齿轮、皮带的磨损经常由不当的安装、不良润滑、制造缺陷和过载引起。



不适当驱动的机器部件因间歇力的作用对机器施加一往复力。一些例子，如泵吸入脉动空气、内燃机汽缸不打火、在直流电动机中电刷换向器的间歇性接触。

不均衡的
空气供应



打不着火
的汽缸



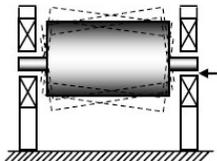
间歇的电
刷接触



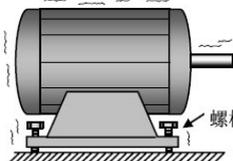
(b) 松动

机械零件的松动引起机械振动。如果零件变得松动，那些原本可以容忍的正常振动可能变得不能约束并且过大。

松动在旋转和不旋转设备上都能引起振动。松动经常由过大的轴承间隙、松动安装的螺栓、匹配不当的零件、腐蚀和碎裂结构引起。



间隙过大

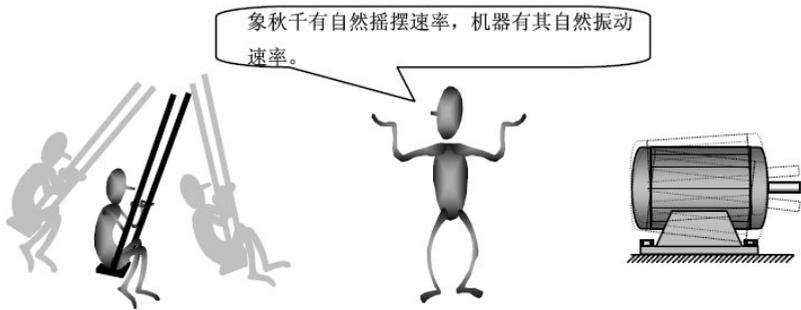


螺栓松动

(c) 共振

想象一个孩子在秋千上**自由**摇摆，即，没有别人推他且自己也不用力。如果我们近距离观察该运动，我们将看到孩子以某一**特殊速率**摇摆。例如，我们将看到秋千带着孩子以大约 3 秒完成一个摇摆周期。

孩子摇摆的速率实际上取决于摇摆系统的**物理特性**，更多取决于孩子的物理特性，即体重。当坐在这个特别秋千上孩子就会以该速率摇摆，它是孩子在这个秋千上最**自然**的摇摆速率。要改变该速率，唯一的方法是通过站起来，改变姿势，用脚摩擦地面等来改变自然摇摆。



机器也倾向于以某个速率振荡。机器倾向的振荡速率被称为**固有振动速率**。机器的固有振动速率对机器来说是最自然的机器振动速率，即以该速率机器更易振动，一台机器通过它本身自由振动更倾向于以固有速率振动。

许多机器不止有一个固有振动速率，例如，一台设备包含两个具有不同固有振动速率的子结构，将会展示至少两个固有振动速率。总之，机器越复杂，他将有更多个固有振动速率。

现在让我们再回到孩子荡秋千这一例子，如果我们不停地推动孩子来帮助秋千运动，我们便可以期待秋千将越摆越高。



然而，如果我们以合适的节奏推动秋千的话，总是能使秋千只会越来越高；如果秋千上升我们却向下推，不要期待它会合理的摇摆。要使它摇的越来越高，我们推动的节奏就应该**和其固有振动速率相一致**，例如，我们可以每隔一段时间推一次，或着每次转变方向时推动，他会达到最高点。仅仅通过以其自然或固有速率来推动孩子，我们便可使其摇摆的越来越高。

如果一台机器被一往复力推动，且该力的节奏与机器的固有振动速率相匹配将会发生什么呢？

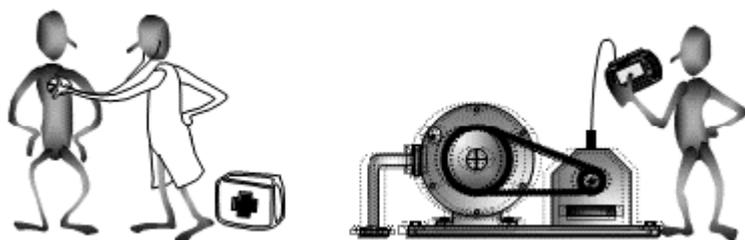
一个类似的情形将会发生——机器将会振动越来越强烈，因为该往复力激励机器以其自然自振速率振动。这台机器将不遗余力并超限振动。不仅因为他将以固有振动速率振动而且还受外力驱使振动。一台机器处于这种状况，我们便说它处于**共振**。

引起共振的往复力可能很小，并且可能来自于一个良好的机器部件的运动，如此小的往复力不会引起大问题，除非引起共振。共振总是应当被避免的，因为它引起**快速和严重的损害**。例如，一座桥的坍塌，仅仅因为其固有振动速率被士兵过桥的一致步伐节奏所激励。

为什么要监测机械振动？

要做好机器振动监测这项工作并且完全获益，我们必须理解对这个问题的答案。

监测一台机器的振动特征能让我们理解关于这台机器的“健康”状态，我们能使用这些信息来探索那些可能正在发生的问题。



为什么要关心机器的状态？为什么不持续运行该机器直至它损坏再修理它？

如果一台机器可以随便使用，我们使用它直至损坏是可以接受的。但是许多机器的价值决定不能随便处理它们。

如果我们对这些机器进行有规律的监测，我们将发现一些问题可能正在发展，并且**能纠正它们即使这些问题已经产生**。

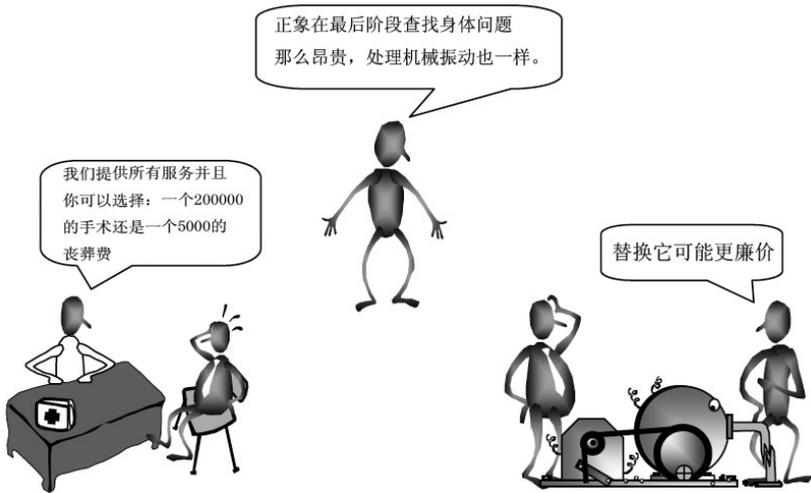
相反，如果对那些我们不期望的振动不进行监测，机器很可能会被一直使用直至损坏。

因为监测机械振动能发现潜在的破坏性振动，因而我们能阻止问题发生，这样会**为我们节省大量时间，金钱和避免损失**。

下面我们讨论一些常见问题，这些问题可通过机械振动监测来避免。当机器本身的价值很大并且远远超过机械振动监测项目的价值时，这些问题是值得避免的。

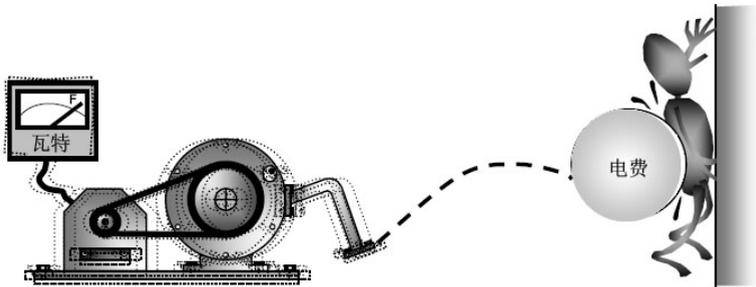
(a) 严重的机械损害

机械振动如果在足够早期没有进行探测，通常将导致严重的机械损害，这些损害需支付**高额修理费**甚至是整台机器的**全部替换**。然而，如果有规律的监测这些机器的状况，在早期阶段潜在的问题就能被发现并被解决掉，在该阶段机器的修理是简单、快速和廉价的。这类似于我们的健康，经常看医生能早发现问题并可以避免大额的重病康复费用。



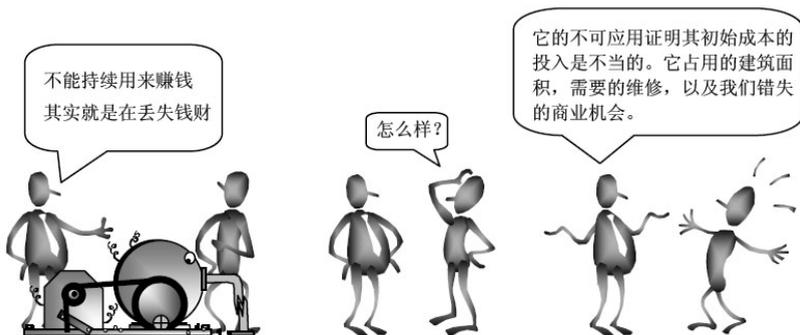
(b) 高功率消耗

一台振动的设备会消耗更多能量，与功率需求执行机器的目的功能一样，**附加功率**也需求支持振动。如果机器被定期监测和维修这个问题可以被最小化。



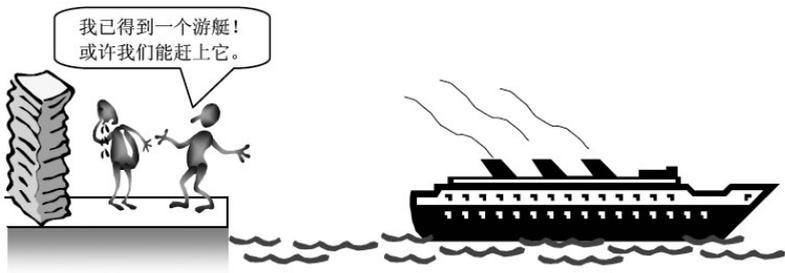
(c) 机械的不可用

因为一台未监测设备更可能损坏，所以它经常更易**失去效用**。然而，拥有和运行机器的价值常常是由于其能够有效高效率地处理物质，或者其能够有效地将原材料转化成金钱。一台机器应能够始终可用用来证明其投资，定期的监测能确保一台机器始终可用。



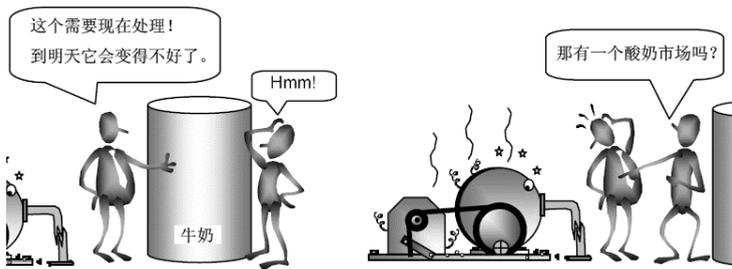
(d) 交货迟延

因为一个没有处于监测状态下的机器更可能损坏，因此也可能导致货物发货的耽误，客户不得不等待，并且也耽搁了支付。客户也可能取消**定单**并拒绝和我们做生意。



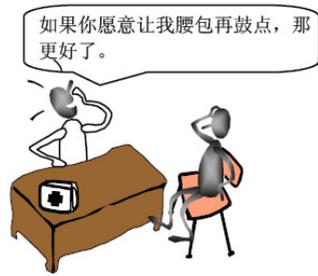
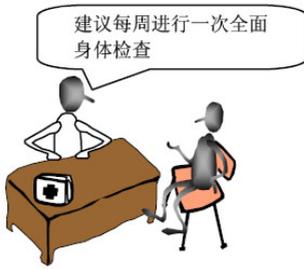
(e) 未完成货物的堆积

因为一台未受监测的机器是容易损坏的，它是经常不可用的，制造中的产品在机器的入料口堆积，这导致不必要的**损耗**——等待的货物冒着**损坏的风险**，**房屋面积和资本的占用**。



(f) 不必要的维护

为了确保机器始终处于良好的状态，一些公司不考虑机器是否正处于故障状态便按照预先决定的计划停机调整并更换零件，因此，经常不必要地停机更换那些**仍然状况良好的**零件以及纠正**不存在**的问题。如果能经常监测机器并仅于必要时修理，这样的浪费是可以避免的。



(g) 质量问题

有时机器虽然表面上好象机能正常却可能正处于不正常状态，这是一种危险状况，如果不早处理，这个问题可能导致生产**低质量**的产品，大规模**产量损失**，**返工成本**，更糟的是被愤怒的客户**返回保修**。经常被监测的机器很少会发生这样的问题。



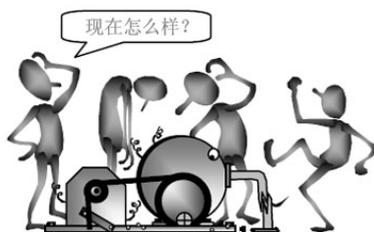
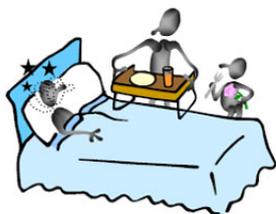
(h) 糟糕的公司形象

我们注意到上面提到的那些没有正常监测的机器能够导致交货迟延和低质量的产品。单单一个偶然的交货失误或产品的缺陷便足以严重玷污或者**终结与客户的关系**，一个与交货延误或低质量相联系的坏公司形象是公司的大事，应该避免。相对来说成本较低的机械振动监测，能够保护我们的客户关系和相关利益。



(i) 职业病

由于振动机械的引起噪声和振动，他们经常引起职业病和人们的不适，而人们的不适又导致公司的损失，因为工人感到不适时会影响生产积极性。意外的机械停机导致人们无事可做，使生产策划者受挫。



总结

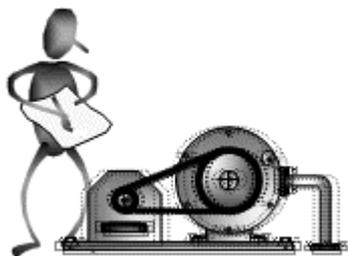
在本章里我们描述了机械振动，并讨论了通过对其采取规范的监测所带来的利益。

简言之，机械振动是机械或机械部件的前后运动，并一般由作用在机械上的往复力，松动的零件以及机械上的共振引起。

我们辨明了规律地进行振动监测的理由和不这样做的结果。通过规范地监测一台机器的特征，当问题产生时我们能检测并纠正它。在早期纠正机械问题，我们避免许多令人不愉快并且代价昂贵的问题，有些问题还会把客户卷入其中。不监测机器振动的代价远远超过进行机械监测项目的花费。

要知道如何安装你自己的机械振动监测程序，联系 **Commtest Instrumentals** 公司或者我们的分销商来获取 **VB** 系列振动监测系统的演示说明，有关你的最近的分销商的地址，请访问我们的网站 www.commtest.com

第二章 如何描述机械振动



要分析一台机器的状态，首先要能够正确描述这台机器的行为和症状。

怎样能够准确描述振动症状呢？

振动分析者如何描述一台机器的状态呢？

在本章里我们给出基本的描述机器振动的方法。

读完下面这章，你将要：

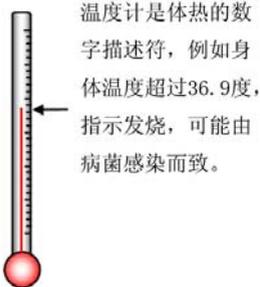
- 知道两种最重要的描述机械振动的方法。
- 理解术语“幅值”
- 理解术语“频率”
- 理解频谱或波形是什么？

如何描述振动？

通过观察、触摸、探听机械振动，有时我们可以粗略判断振动的严重性。我们能观察到某些种类的振动可能是“严重的”，一些是“应引起注意的”，而一些是“应忽略的”。我们也可能触摸一个振动的轴承感觉它“很热”，或听到它发出“嘈杂声”，并因此判断其出了问题。

然而，使用这些一般术语来描述机械振动并不准确，并且还要取决于作出评价的人。对某人很严重的东西对另一人似乎可以接受，口头描述通常是不可靠的。

要准确分析一个振动问题，首先要使用一致和可靠的方式来描述振动。振动分析者基本上采用**数字描述**来准确分析振动并有效交流，而不是采用口头描述。



两个最重要机械振动的数字描述是**幅值**和**频率**。

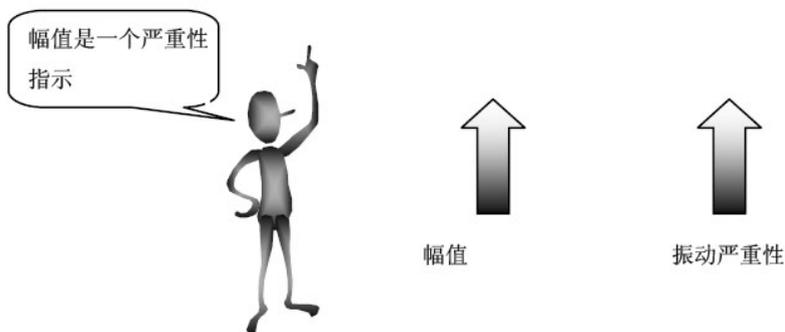
幅值描述振动的**剧烈**程度，频率描述振动的**振荡速率**（一个物体振动的频度）。振动幅值和频率一起提供辨明振动根源的基础。

什么是幅值？

振动幅值是反映振动大小的量。

一个具有高幅值的机器是正经历大的、快速的、强有力振动性运动的机器。机器的幅值越大，机器承受的运动或应力就越剧烈，机器就越容易损坏。

因此，振动幅值是一种有关机械振动**严重性**的指示。

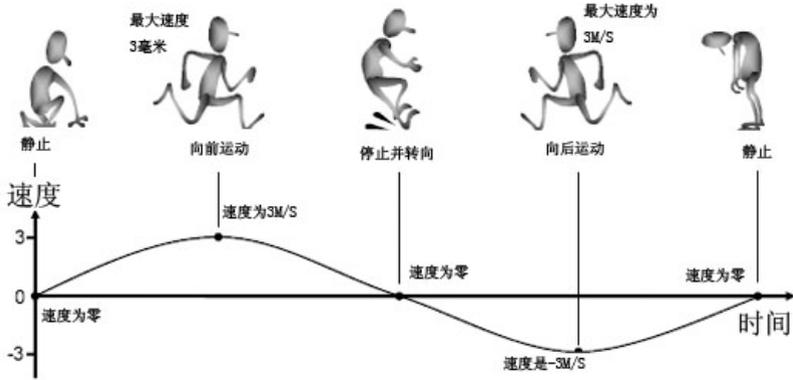


一般来说，振动幅值或严重性涉及到：

- (a) 振动运动的尺寸
- (b) 运动的**速度**
- (c) 与运动有关的**力**

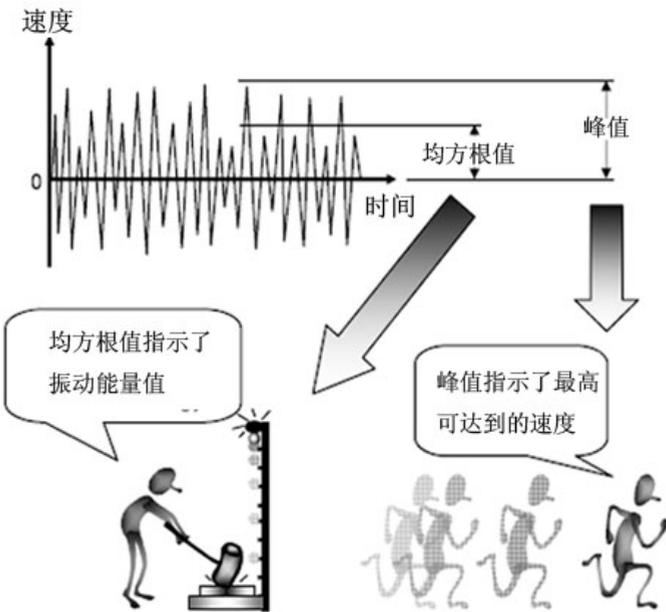
在许多情况下，机器的**振动速率**或**速度**幅值给出反映机器状况的最有用信息。

什么是速度？速度是**只在特定方向上测量的速率**，如下显示。



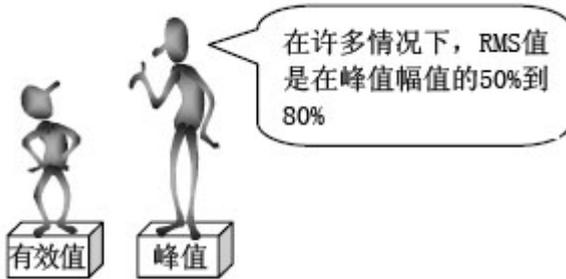
速度幅值可以用峰值这一术语表示，也可用均方根值（有效值）这一更为人所知的术语表示。

机器振动速度幅值的**峰值**，是指在一段时间内在机器上得到的**最大振动速度值**。如下显示：



机器振动的**均方根值**告诉我们该机器的振动**能量**。振动能量越高，均方根值越大。

术语“均方根值”（有效值）常常被缩写为 **RMS** 。记住均方根值总**低于**峰值幅值是有用的。



我们怎样决定是使用均方根值还是峰值幅值呢？这是一件个人取舍的事。然而**当进行比较时总使用相同的幅值类型**很重要。

速度幅值，无论是峰值还是均方根值总要用一种单位来表达。下表是通常使用的两种速度幅值单位。

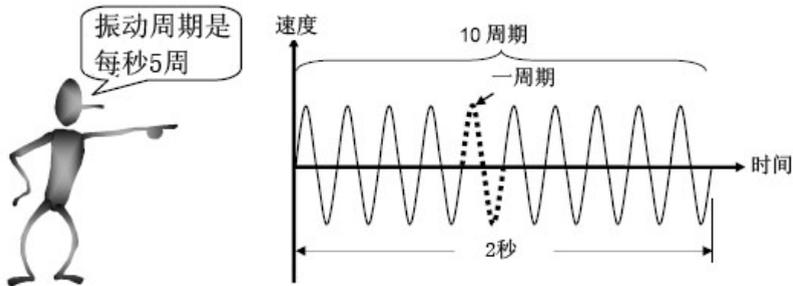
英制单位	米制单位
英寸每秒 (in/s)	毫米每秒 (mm/s)

什么是频率？

一台振动机器的部件振动，即作重复周期运动，依赖于引起机械振动的力，一台机器可能快速或慢速振动。

一个机器部件振动的速率被称为**振动频率**。振动频率越高，振动越快。

一个振动部件的频率决定于每秒钟完成的振动周期数。例如，一部件以每秒 5 个周期运动被说成以每秒 5 周期的频率进行振动。如下图所示，信号的一个周期仅是反映该信号特征的最短图形的一个完整序列。



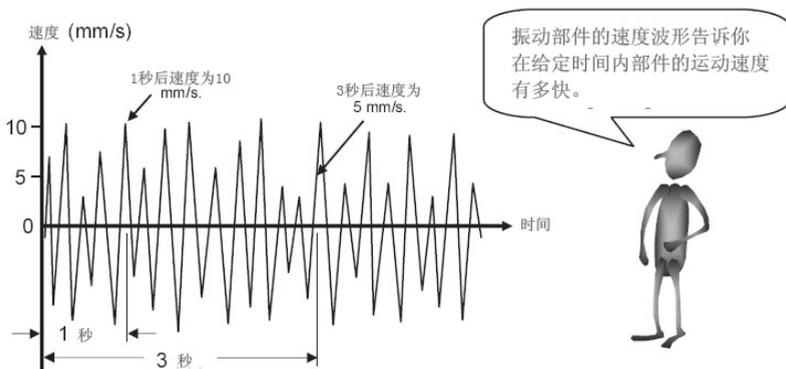
就象人的脉搏速率或频率揭示人的兴奋状态或一般的健康状况那样，机器部件的振动速率或频率通常是反映机械状况的有用的指示参数。

频率，与幅值一样，总要被一单位来表达。通常使用的频率单位是 cps（周期每秒），Hz（赫兹）和 cpm（周每分钟）。赫兹等价于周每秒。1Hz 等于 1cps，或 60cpm。

波形是什么？

来自人体心脏的电信号的图形显示（ECG-心电图）可用于分析人体心脏的医疗状态。用相同的方式，振动运动的图形显示对分析振动的特性是有用的工具。在振动图形显示中我们总能找到反映振动原因和振动严重性的线索。

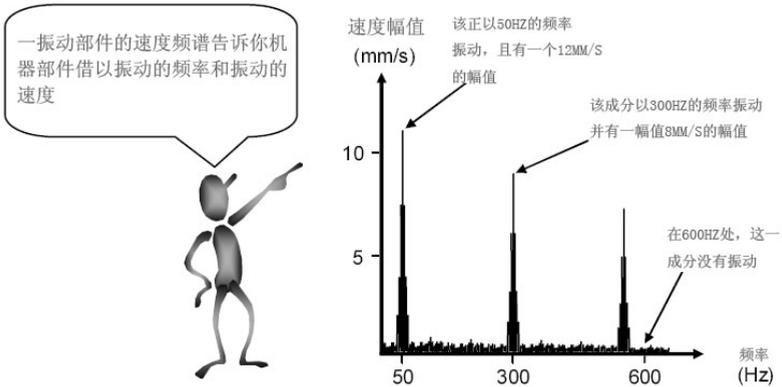
通常使用的一种显示是波形，波形是一种表示**振动值如何随时间变化**的图形。下面是一速度波形的示例。速度波形就是一幅振动部件的速度随时间变化的图形。



一个波形包含的信息量取决于波形的时间段和分辨率。波形的**持续时间**是总的时段，在该时段内可以从波形中获得信息，在许多情况下几秒钟就足够了。波形的**分辨率**是反映波形详细程度的一个尺度并且由表现波形特征的采样点或样本的数量决定，样本数越多，波形就越详细。

频谱是什么？

另一种通常被振动分析者使用的显示是频谱，频谱是一个图形，反映**机器部件振动在某（些）频率**，同时部件的幅值对应于这些频率。下面显示的是一速度频谱的示例。



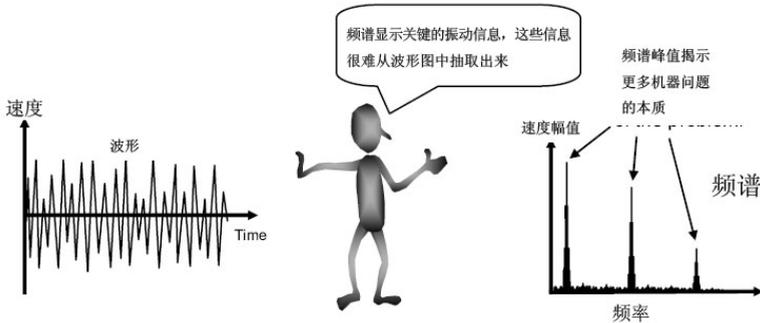
但是一个单一的机器部件怎能同时以**多个频率**振动呢？

答案在于这样的事实，机器振动与钟摆的简单振动相比，通常不止包含一种简单的振动运动，通常是包含多种振动运动同时发生。

例如，一个振动的轴承的速度频谱通常显示该轴承不是一个频率而是多个频率振动。某些频率上的振动可能是因为轴承部件的运动形成的，其他频率的振动是由于齿轮轮齿的啮合而成，然而在另一些其他频率上的振动则因电动机绕组旋转而起。

因为**频谱**显示振动发生的频率，所以它是一个非常有用的**分析工具**。通过研究某机器部件的特定振动频率以及对应于频率的幅值，我们能提供许多有关振动原因的和机器状态的信息。

相比之下，**波形**不能清楚的显示产生振动的特定频率，只能显示综合效果。因此使用波形诊断机器问题**不容易**，除了几个专门的例外情况。频谱是通常用于分析机器振动的基本工具。



频谱包含的信息取决于最大频率和频谱分辨率。频谱的最大频率值 **Fmax** 是频率的界限，在整个范围内，信息可以从频谱中得到。需要多高的最大频率取决于机器的运行速度，运行速度越高，就需要更高的最大频率值。频谱**分辨率**是关于频谱细致程度的一个尺度，并且由表现频谱特征的频谱线数来决定，谱线数越多，谱图越细致。

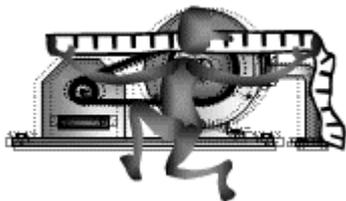
总结

在本章，我们使用了对振动分析目的有益方法描述机械振动。

我们定义了幅值和频率两个术语，并描述了这两个术语的物理意义。幅值是一个振动剧烈程度的尺度，而频率是衡量振动速率的一个尺度。振动机器部件的幅值和频率一起提供给我们对机器状态和振动原因的一个理解。

我们注意到当机械振动进行图形显示后更容易分析，我们讨论了两种常用的显示：波形和频谱，通常频谱作为分析手段更为有用。

第三章 如何测量机械振动



在上一章，我们把频谱归为最重要的振动分析工具。当我们测量机械振动时，通常测量振动频谱，因为振动部件的频谱告诉我们大量有关部件状态以及振动原因的信息。那么很自然，**准确地**得到给我们提供如此有价值信息的频谱是很关键的。

为保证测量的准确性必须遵守什么方针？

测量应如何进行，并且对哪些机器应该测量？

在本章我们将回答这些问题。

读完本章后你将能够：

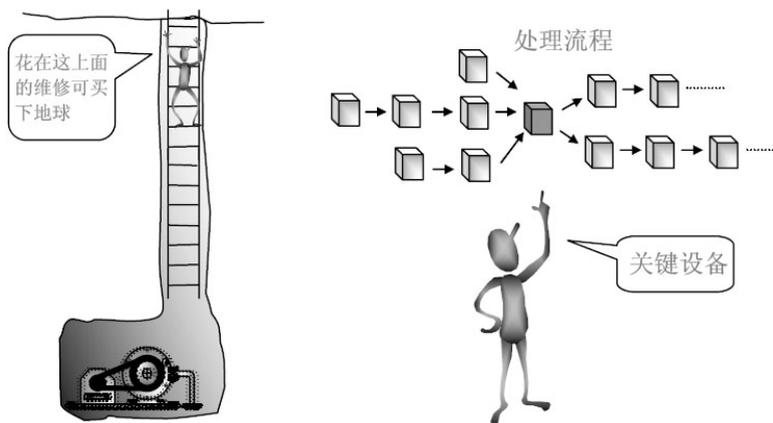
- 识别哪些机器应当被监测
- 理解振动传感器应当如何安装
- 决定应如何设置测量参数
- 采用系统方法进行测量

哪些机械需要监测？

在决定对哪些机械进行监测时，**关键**设备当然应有优先权。这与监控人体健康有很多类似，过多监控完全健康的人体而放弃那些真正需要监控的人是不合适的，同样的原则适用于监测机械状态。

为了避免不可预知的和高昂代价的问题，下面的设备应当定期监测。

- (a) 如果损坏，**维修费用昂贵、维修时间长、修理困难**的机械
- (b) 对**生产或全厂运行关键**的机械设备
- (c) 那些**经常发生损坏**的机械
- (d) 正在因**可靠性被评估**的机械
- (e) 影响**人类或环境安全**的机械



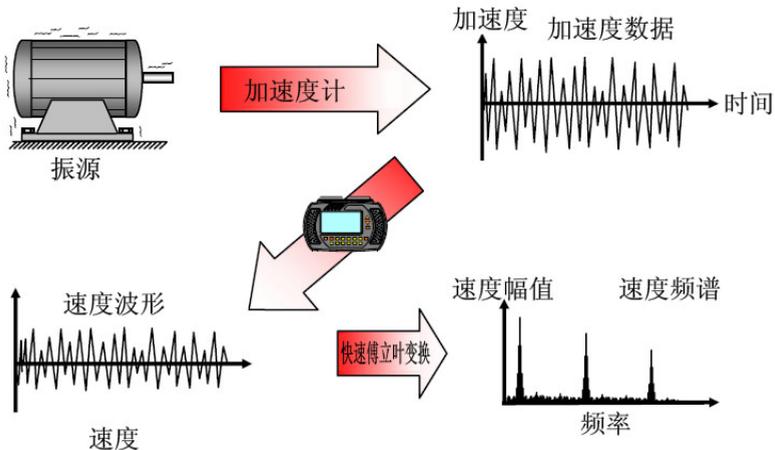
仪器怎样工作？

进行振动测量前，测取振动行为的传感器需要连到被测量的机器上。有多种类型的传感器可以应用，但一种加速度类型传感器经常被应用，它比其他传感器更具优点。**加速度传感器**能产生电信号，该信号与其相连振动部件的**加速度成比例**。

振动部件的加速度是什么？它是一种反映部件**速度变化快慢**的尺度。

加速度信号通过加速度计传递到仪器上，仪器将该信号依次转换成**速度**信号。取决于用户的选择，信号既可以**速度波形**也可以**速度频谱**来显示。速度频谱是通过**快速傅立叶变换** 或 **FFT** 这一数学计算从速度波形中获得的。

下面是一个有关振动数据是如何被获取的非常简单图解，更详尽信息你可能希望咨询其他的文献如 VB 仪器参考指南。

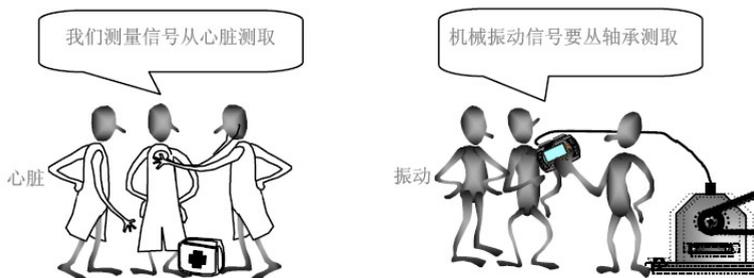


如何安装加速度传感器？

许多机械包含**旋转机构**。电动机，泵、压缩机、风扇、皮带运输机、齿轮箱等都涉及到旋转机构并在机械领域广泛应用。

许多旋转机械设备由**轴承**支撑旋转部件的重量，同时支撑旋转运动与振动所产生的力，通常大部分的力由轴承支撑。因而毫不奇怪轴承是**损坏**经常发生且最先**症状**发展的部位。

振动测量通常在轴承处进行，把加速度传感器安装在轴承上或轴承附近。

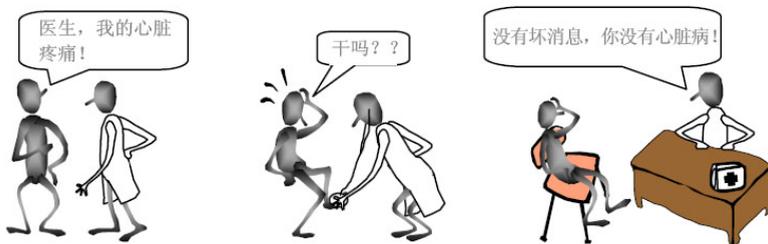


由于有关机械状态的结论--以及由此确定是否存在金钱的耗费和人身风险，取决于测量的**准确度**，对于如何采集测量我们应谨慎。重要的是总要记住我们**安装加速度计的方式**很大程度上决定测量的准确度。

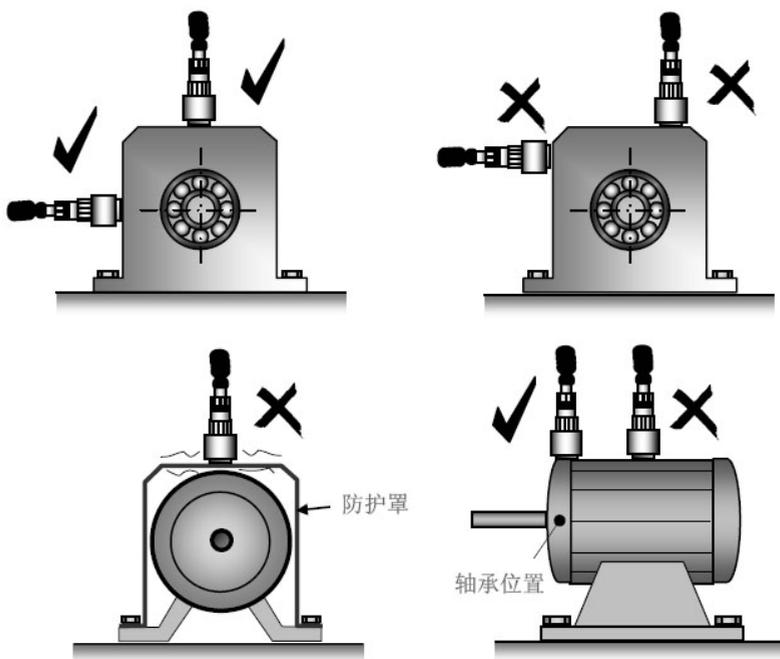
如何安装加速度计来确保测量的准确性并且保证人身的安全？如下是一些指导原则：

(a) 尽可能靠近轴承安装

想象一下假如有位医生隔着厚衣服听你的心脏并且把听诊器放在肾上而不是心脏，当他如此安放时你很可能怀疑他的诊断，因为声音被不适当的**障碍物**和来自他器官的**噪声**扭曲。



当测量振动时，应当把加速度计尽可能**靠近轴承**，更明确地，应尽量把加速度计放到接近**轴承的中心线**上避免测取到失真信号。

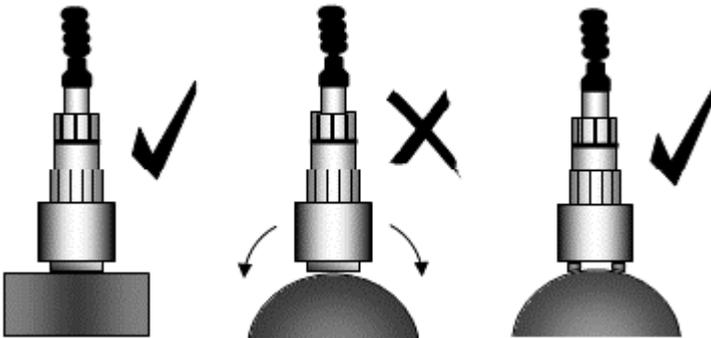


(b) 确信加速度计联接牢固

为了使加速度计检测到真实的振动行为，它需要准确经历与振动部件相同的振动性运动，因此，加速度计应**牢固的安装**在振动部件上以致它不会独立于该部件滚动或移动。一个安装松动的加速度计因它本身的自由运动将产生扭曲的信号并给出错误的信息。

安装方法有很多，但依靠磁力的安装手段最为常用，因为它兼顾了测量的**可靠性**和对用户的**便利性**两个方面。在 Commtest VB 仪器包中备有磁座，当用户使用相同的加速度计测量各种设备时可以提供牢固联接，并可在最短时间内安装和拆除加速度计。

要确信加速度计被牢固联接，磁座被放置的表面应当是**平的**。磁座应当安全的吸在表面上使加速度计指向预定的方向。



表面平整的要求，应除去表面的碎片、尘土和成片的油漆。



安装表面应当是**真的铁磁性材料**（铁、镍或钴合金）。例如，磁座的安装不应在铝面下放置铁材料而把磁座安放在铝的表面。



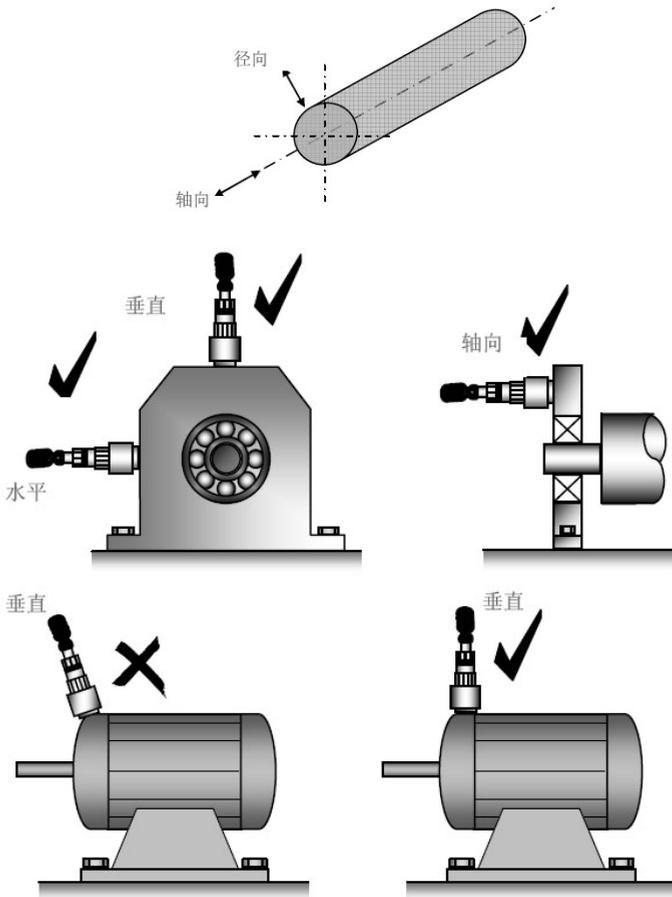
为避免磁性消失，不要**摔或加热**磁座。另一需注意的是不要剥去加速度计和磁座上的螺纹。



(c) 确信加速度计方向正确

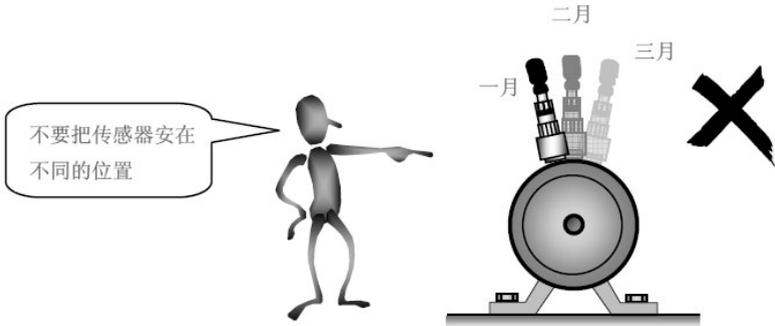
不同的情形要求加速度计不同的安装方向，例如，要监测平行不对中，加速度计通常被安装在轴承的径向位置，但要监测角不对中，就应安装在轴向位置。

加速度计产生的信号依赖于加速度计**安装的方向**，因为振动幅值在不同的方向上是变化的。



(d) 在相同位置安装相同加速度计

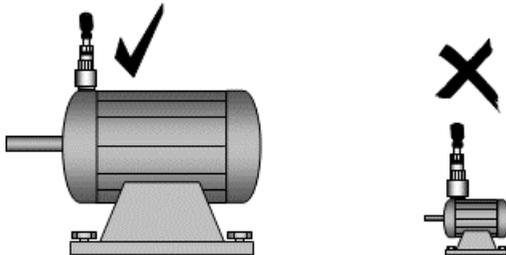
在一特定的测点上，总是在**同一位置**安装加速度计是非常重要的，这样可以减少测量的不一致，避免错误的结论。在可能的情况下，保持在一个特定的测点上总是使用**同一加速度计**。



(e) 在坚固的物体上安装加速度计

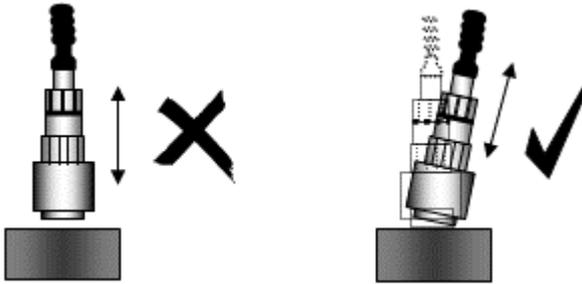
加速度计永远不要安装在机器的柔性部分，否则，频谱将因柔性部件的拍动而畸变。

加速度计永远不要在轻的结构上使用，否则，加速度计和磁座的重量将改变结构的振动行为。一般，加速度计和磁座的复合重量不能超过振动结构重量的10%。

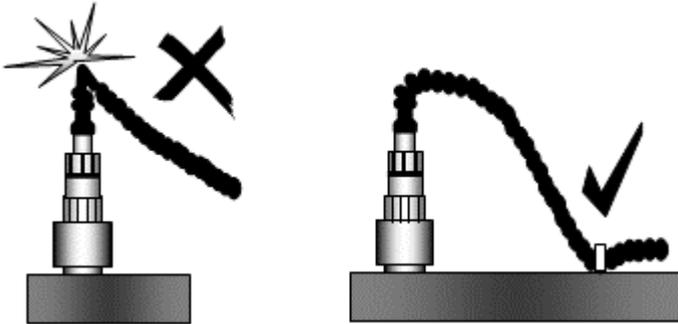


(f) 加速度计的维护

若粗暴对待加速度计可能会使其产生不可靠的信号。因为磁座具有磁力，因此当安装加速度计到一表面时要十分注意，可以使磁座**倾斜一定角度**去接近安装表面来完成加速度计的安装。当分离磁座时，加速度计不应被用作杠杆来断开联接。相反，应当紧紧抓住磁座然后向一旁倾斜断开联接。



加速度计**电缆**决不能剧烈**缠绕**，而应该以某种方式**固定**防止其损坏。缠绕的或随意摆动的电缆可能歪曲被测频谱。

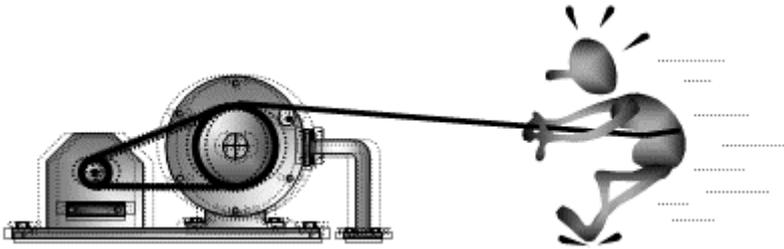


(g) 注意人身安全

任何时间必须对危险进行管理，当进行振动测量时，三种突出的风险以**可能性**或**严重性**排序：被运动零件伤害，电击和电磁感应损伤。

首先，当安装加速度计时，要留心不要使电缆**缠进运动机械**中。虽然快速释放连接器可减少危险，但不能把它当作正确安装的替代去依赖。

其它能与运动机械缠绕的物品有松散的衣服、长发、数据传输电缆和背带。



第二，永不把加速度计安到**高电压**表面，因为可能引起电击。

第三，磁座永不靠近**磁敏感物体**，例如信用卡、软盘、录象带、盒带和手表，因为这些物品会被磁场损坏。

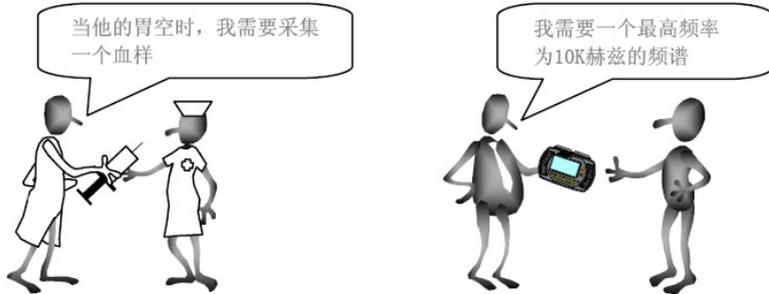
还有其它的危险，在使用仪器或其配套使用的附件前，阅读并完全理解仪器使用手册很重要。

如何设置参数？

什么是测量参数？

测量参数是**定义如何**一个测量采集的**细节**。通过设定测量参数，我们可以设定数据在呈现给我们之前是如何**被采集并处理**的。在进行振动测量前，我们需要设定测量参数。

振动测量参数类似于医生在医疗检验前指定的那些“什么”和“如何”细节。



现在我们看一看在测取频谱时如何设定参数，在本章的剩余部分，我们将使用**Commtest**公司的**VB**仪器作为振动监测的样机来讨论问题，因为它是一款使用特别简便的仪器。例如，默认测量参数值（除了默认的**Fmax**值以外）适合许多振动测量，以致在许多情形很少或没有必要对其进行调整。这些参数被显示在**VB**仪器的**Set Parameters**参数设置屏幕，将“**Domain域**”设置为“**frequency频域**”。

这些测量参数值是什么，并且它们意味着什么？

用来测量振动频谱的参数可以被分成**4**类，即，参数决定：

- (a) 数据如何**采集**
- (b) **多少或多快**地数据采集

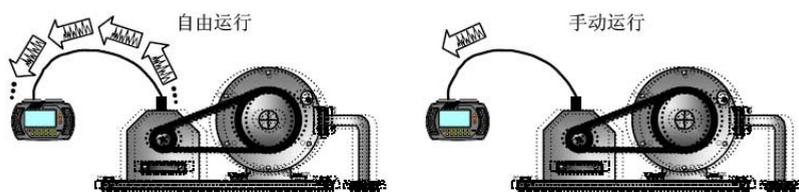
(c) 如何**处理**数据

(d) 如何**显示**数据

(a) 如何采集数据

决定如何采集数据的参数是“触发类型”，这个参数被列在“传感器设置”项下。

“触发类型”这个参数告诉我们仪器如何开始测量。如果设置成“Free Run 自由运行”，仪器将不断的进行测量。如果设置成“Single 单个”，只产生一个测量周期。在多数情况，仪器被设置成“Free Run 自由运行”。



“**Sensor Setup 传感器设置**”项下的的参数告之仪器使用什么加速度计进行测量。如果 VB 工具箱提供的 ICP 加速度计被使用，“驱动电流”需要被设为“打开”，并且“灵敏度”应当与VB质量保证卡上标定的值匹配。“稳定时间”是加速度计和仪器在进行准确测量前进入稳定状态所需的时间。应当使用默认的“稳定时间”值以确保测量的准确性。

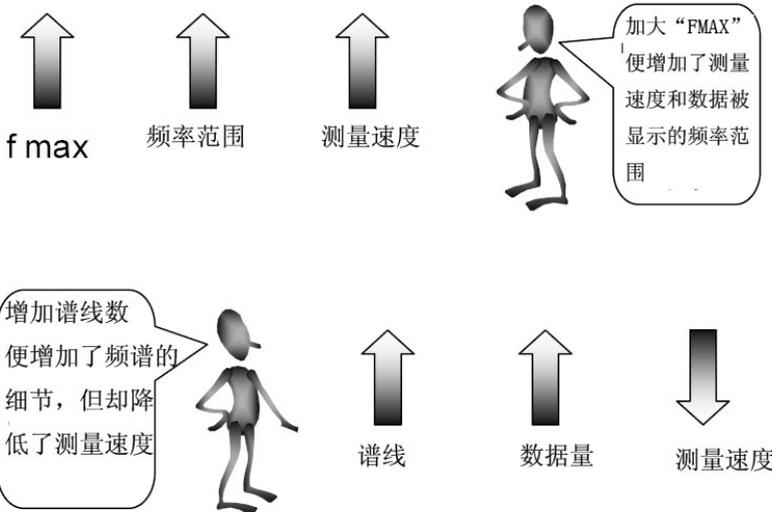
(b) 采集多少或多快的数据

决定数据采集**多少或多快**的参数是“Fmax”、“谱线数”和“叠加百分比”。

在第二章，我们注意到“Fmax”越高，频率范围越大，在该范围内可以获得频谱信息。

因此，如果“Fmax”值高，数据可显示到高的振动频率范围。要获得有关高频信息，测量频率—或数据的采样速率—也要高。结果“Fmax”越高，测量将要**更快**。

频谱图拥有的**谱线**越多，从它获得的信息就越多。这便意味着谱线数越多，就需要采集**更多的数据**来产生额外的信息，并且因此会占用更长的测量时间。



“Fmax” 值应设为多少？

机器的运行速度越高，振动频率将会越高，那么为了捕捉高频振动行为则需要更高的“Fmax”。

↑
运行速度

↑
需要的FMAX



当振动**不涉及**诸如齿轮齿、风扇叶、泵叶轮和轴承部件等旋转件时，等于 **10 倍**转速的“Fmax”值足以捕捉所有的关键信息。

例如，若运行速度是 1000RPM，那么“Fmax”值被定为 100,000CPM 是足够了。

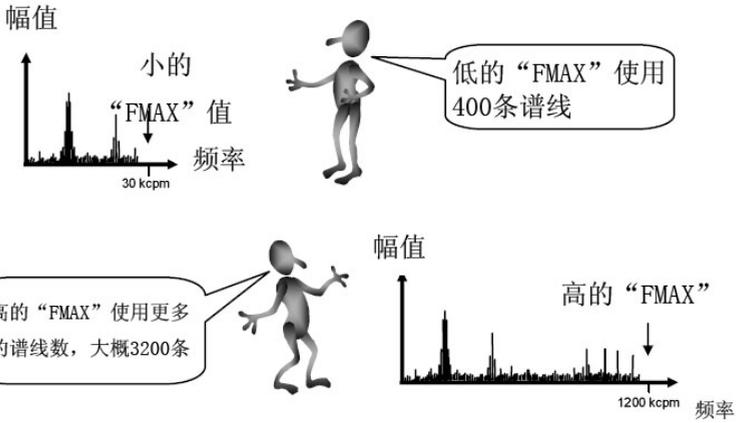
当振动**涉及**诸如齿轮，风扇、泵、和滚动轴承等子部件时，“Fmax”值等于 **3 倍的子部件数**乘以运行速度就足够捕捉关键信息了。

例如，一大齿轮被一转速 1000RPM、12 齿的小齿轮驱动，“Fmax”值为 360000CPM 就足够了。

如果“Fmax”值需要很大，频谱的分辨率将会低并且属于低频振动的信息可能丢失。除了高“Fmax”测量外做一些低“Fmax”测量也可能是必要的。

应当使用多少谱线？

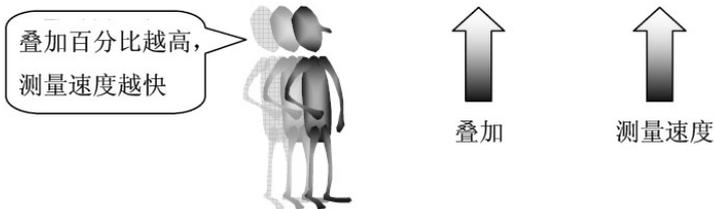
在许多场合，400 线的分辨率是充足的。然而，如果使用大的“Fmax”值，这些谱线将在一个大的频率范围内展开，在谱线间会留下大的间隙。因此，对于大的“Fmax”值，为避免细节的损失就需要更多的谱线数。



然而应引起注意的是使用的线数越多，花费的测量时间越多并且占用仪器的内存就越大。因此我们只在必须的时候使用高的“Fmax”值或高的谱线数。

应使用多大叠加百分比？

叠加数据是重新使用一定百分比的前面测量的波形来计算一个新的频谱的方法。叠加百分比越高，则产生一个频谱需要的新数据就越少，频谱的显示因而**更快**。**50%的叠加**许多情况下是理想的。

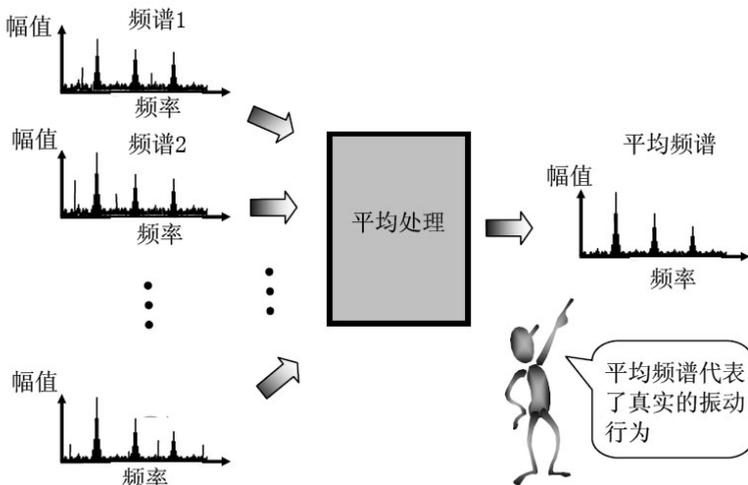


(c) 如何处理数据

决定数据如何**处理**的参数是“平均类型”、“平均次数”和“窗函数”。

假设你不得不准确测量书页的宽度。由于每页到每页的的宽度会有细微的**变化**，你将要可能测量不止一个书页的宽度而且还要测几页的宽度并取其**平均值**。

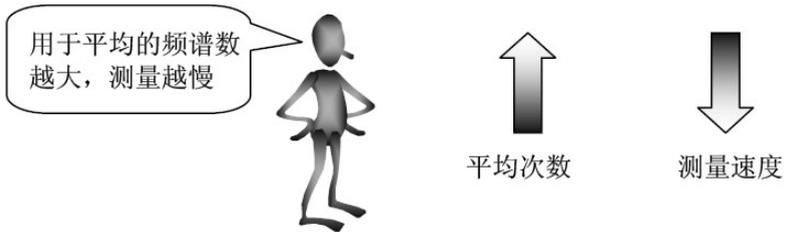
类似情况，当测量振动时，通常测几个频谱并进行平均产生一个**平均谱**。该平均频谱更好的表示了振动行为，因为平均处理减小了在机器振动中固有的随机变化或尖峰干扰的影响。



“**平均类型**”决定频谱怎样被平均，许多场合下推荐使用“**线性平均**”。“**指数平均**”通常只在振动行为随时间内变化明显时使用。“**峰值保持**”并不真正涉及平均但会在被显示的每条频谱线上产生最大幅值。

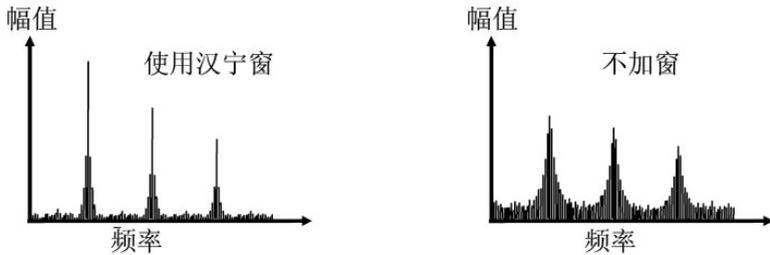
“**平均次数**”决定进行平均的连续频谱的数目。用于平均的频谱数越大，更多噪声尖峰将被平滑并且更多真实的频谱峰值会显示出来。

然而，“平均次数”越大，就需要采集更多的数据，并因此为获得平均频谱而花费更多的时间。“平均次数”为 4 对许多情况是足够了。



被采集的数据通常不直接用来生成频谱，而是要预先被**修改**来弥补 FFT 处理的局限性。数据通常通过与修正**窗函数**相乘得到改善，这能阻止谱线间的泄漏。

“**窗类型**”决定使用哪种窗，通常使用“**汉宁窗**”。若使用“**矩形窗**”数据结果将不会得到改善。



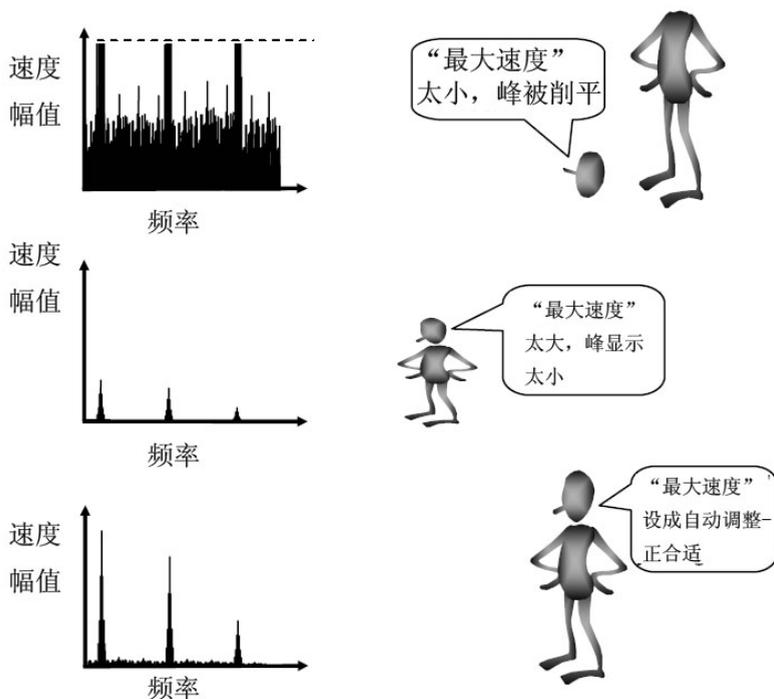
(d) 如何显示数据

决定频谱怎样显示参数被列在“显示单位”。

要说明频谱怎样被显示，频谱的**标尺**需要指定。频谱的标尺决定了频谱细节是否容易被看到，且标尺由“幅值刻度”、“vDB 参考值”、“对数范围”、“最大振动速度”等参数来定义。

许多情况，“**幅值刻度**”是**线性的**。如果使用线性幅值刻度，那么“vDB 参考值”、“对数范围”是无关紧要的（不需要设定）。

通常，“**最大振动速度**”应当设成“**自动**”以便仪器能自动选择理想的幅值刻度，从而使频谱峰值清晰可见。

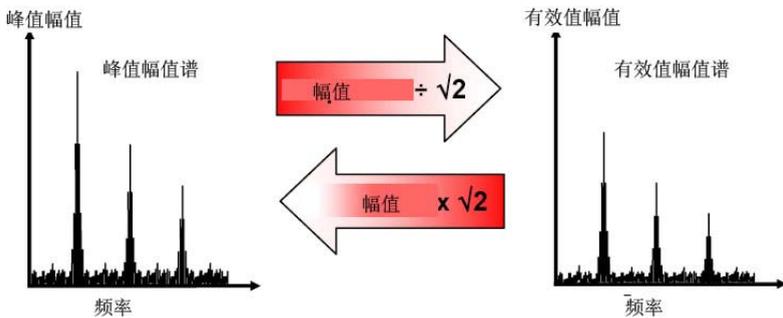


要说明频谱如何被显示，“**幅值类型**”也需要被指定。在第二章，我们定义了两种幅值类型—峰值和均方根值。

如果**峰值**被使用，频谱将在不同的振动频率处显示振动部件的最大速度。

如果使用“**rms**”幅值，振动能量将显示在不同频率处。

作为振动频谱，在某一特定频率处的峰值幅值正好是同一频率下方均方根幅值的**根号 2 倍**（约 1.4 倍）。因而使用哪种幅值类型不是很重要，因为可以很容易的进行幅值转换。



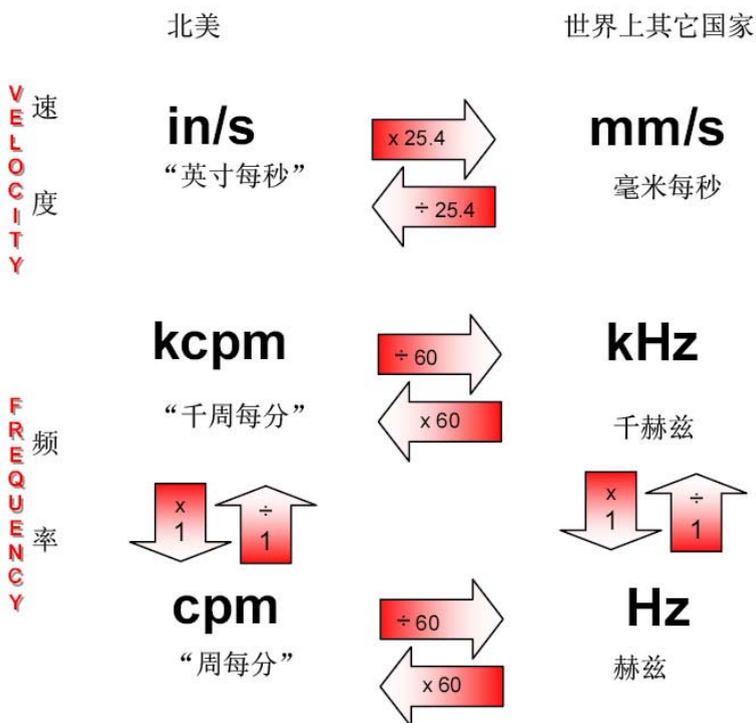
建议在某个特定测量点上**总是使用相同的**幅值类型避免误解，把有效值幅值转换成峰值幅值会引起振动幅值的明显上升，以致可能被错误的解释成机器出现故障，相反，把峰值幅值转换成有效值幅值可能会隐藏振动幅值的真正上升。

最后，频谱中幅值和频率的**单位**也需要指定。

使用哪种单位由用户自己选择，或取决于地理位置。

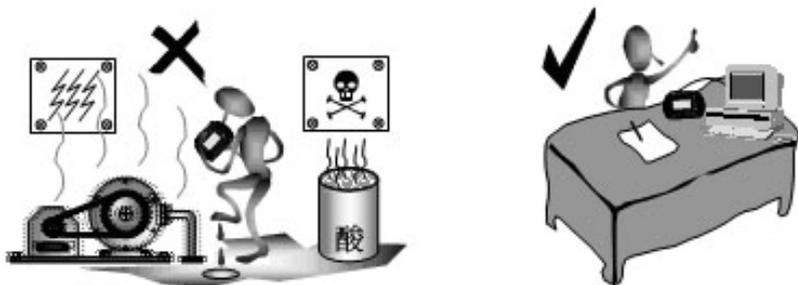
在北美，通常使用的速度单位是“in/s”英寸每秒，一般使用“CPM”千周每分钟作为频率单位。

在其他国家，速度和频率的单位分别使用“mm/s”毫米每秒和“Hz”赫兹。下面显示的是这些单位间的关系：

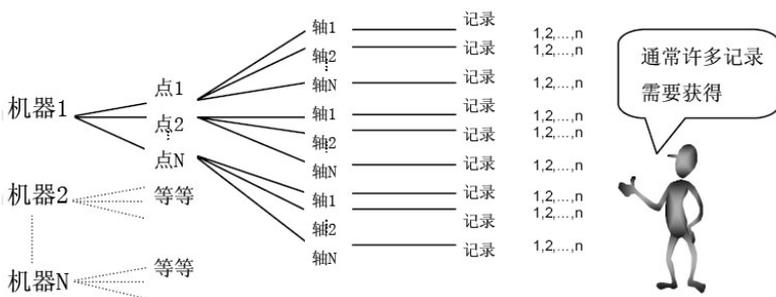


数据如何采集？

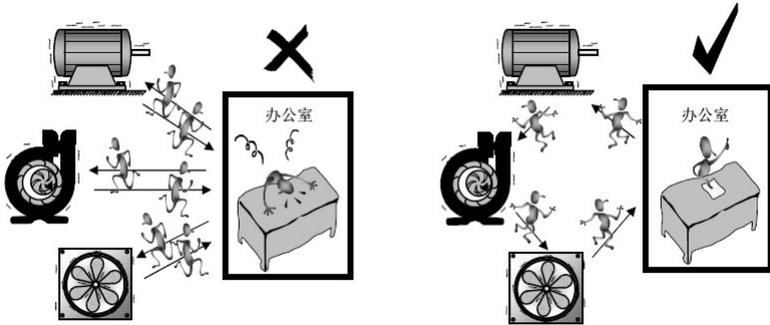
因为机器周围环境通常是危险和令人不适的，振动分析一般远离机器，要做到这点，经常把测量数据记录到测量仪器上，然后送到环境安静又安全的办公室进行数据分析。在办公室，数据可传到计算机进行更详细的分析。



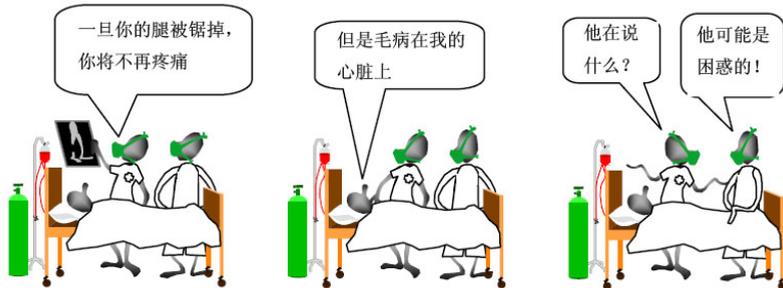
在多数工厂，通常有许多关键机器需要监测，更进一步，为了能够分析彻底，每台机器需要在多个点上监测，每一点经常需要使用加速度计对不同方向来进行监测，并且偶尔也使用不同的测量参数。因此，在每一数据采集周期，通常需要获得大量的记录。



要避免在办公室和机器间的不必要的往返奔波，就要先获取**所有机器**的记录，然后再带回办公室进行分析。



既准确又系统的获取记录是重要的，使用有组织的方法获取记录，这样就不会混淆不同机器频谱。如果被记录的频谱混淆在一起，将极有可能导致**错误的结论**，或许产生很高的代价。



考虑到大量的记录需要获取，我们怎样确保这些记录是来自预期的位置，怎样确定这些记录被获取时彼此没有混淆，怎样确保记录没有遗漏？使用一个**记录列表**。

一个记录清单显示了一个数据采集周期内所有需要获取的记录。它象一个详细的**采购清单**，在采购期间准确的指示要买什么东西。从一个记录清单中，能够看到记录是从哪台**机器**、机器上的哪个**点**、哪个**方向**以及使用哪些**测量参数**获得的。

请记录下面内容：

电动机A1

- 前端
 - 水平 (Fmax 200Hz)
 - 垂直 (fmax 200Hz)
 - 轴向 (fmax 200Hz)
- 后端
 - 水平 (Fmax 200Hz)
 - 垂直 (fmax 200Hz)
 - 轴向 (fmax 200Hz)

齿轮箱B2

- 输出端
 - 径向 (fmax 200Hz, ...)
 - (fmax 200Hz。。。)

转子B2

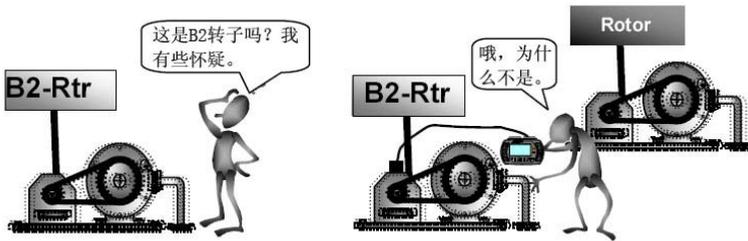
- 被驱动端
 - 水平 (fmax 200Hz, ...)
 - 垂直 (fmax 200Hz, ...)
 - 等等



虽然在 VB 仪器中的记录清单与上页所显示的不完全一样，但它有相同的信息结构。

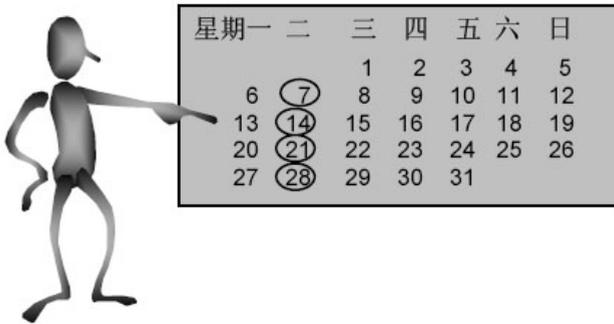
在这个例子中，“电动机 A1”、“齿轮箱 B2”是需要采集数据的**机器**，“前端”、“后端”、“输入端”等是各种机器上的**测量点**。“水平”、“垂直”、“轴向”和“径向”是**测量方向**，在括号里是使用的**测量参数**。注意“齿轮箱 B2”需要获取两个记录，每个记录具有不同的参数组。关于记录清单的更多信息可以在 VB 仪器参考指南中找到。

为避免混淆，在记录清单中就要为机器和测量点取**独特和有意义的名字**。要排除错误辨识，实际的机器和测点应当被清晰标记上与记录列表**相匹配的名称**。当获取记录时，应当谨慎以确保**加速度计的安装方向**和记录清单中描述的匹配。



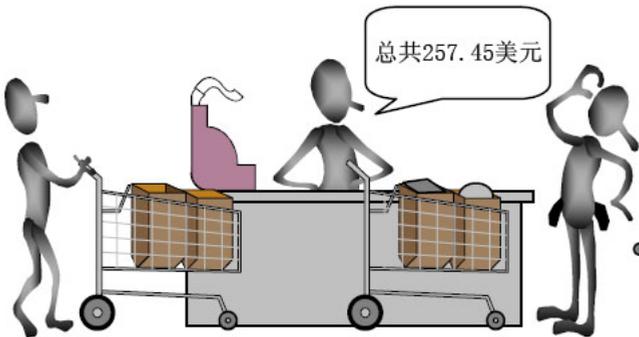
不是所有列在记录清单上的机器是同等关键的，不太关键的机器监测频率越低。如果在特定的数据采集周期只监测某些机器或测点，你可以对需要监测的机器**加标签**，以便只对那些加标签的项目进行记录。对记录清单中的项目加标签在 VB 仪器参考指南中进一步被解释。

为了确保数据采集能定期进行，你应当建立一个**日程表**表明什么时候进行数据采集。



对大部分机器，**每月**应当采集一次数据，关键机器应当每周采集一次数据，对几乎不重要的机器几个月进行一次。建议开始应有一严格的计划，当获得更多经验后再进行调整。

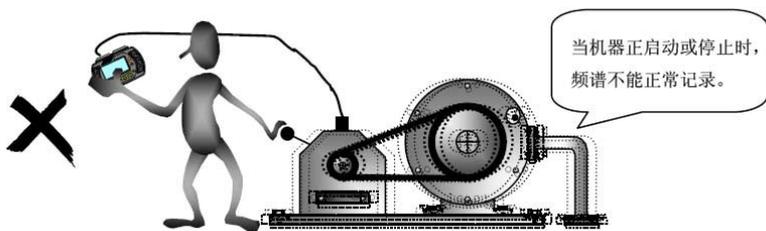
想象一下拿着购物清单却没有足够的钱买我们所需的东西并且没办法把东西运回家，采购任务的失败应在意料之中。



同样，做机器振动监测，VB 仪器需要有足够的**电量**和**内存**来完成一轮数据采集。**在开始采集数据前**，我们必须确认仪器有足够的电量和内存容量。（更详细的信息见 VB 仪器参考指南）

许多种振动问题是当机器平稳运行并展现出**稳定**振动型态时被检测到的。

如果机器刚好启动，或者其运行速度已经改变，在做频谱记录前我们需要确认机器有足够的进入稳定状态的时间。否则，被记录的频谱将不能反映出振动机器的真正稳定状态下的行为。



当一轮数据采集完成后，被记录的数据应被传到装有 ASCENT 软件的计算机进行分析和存档。一旦被记录的数据已存档，就可以删除 VB 仪器中的数据，为下一轮数据采集增大仪器内存空间。



总结

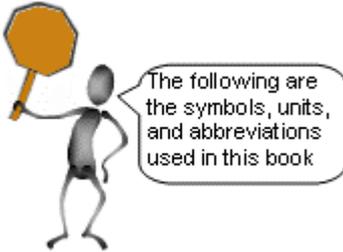
在这章，我们学习了如何测量机械振动。

我们讨论了确定哪些机器需要监测的方法，以及确定机器为关键机器的要素。我们也了解了测量仪器如何工作，并描述了加速度计的功能。我们强调仔细安装加速度计的重要性，因为测量的准确性很大程度上取决于加速度计怎样安装。

我们提供了如何设定测量参数的指导原则。简言之，为测量设置参数就是指如何进行测量的细节。这包括怎样采集数据，采集多少或多快，以及被采集的数据怎样处理和显示。

我们也强调了以系统的方式采集和存储数据的重要性。对一轮数据采集周期，在记录清单的协助下通常对所有机器进行数据记录，之后传输到计算机进行详细分析和归档。为帮助确保数据采集有规律地进行，你应当制定一个清晰的数据采集日程表。

附录: 符号列表



Symbol	Meaning
<i>adj.</i>	adjective
Ascent™ software	Commtest's vibration analysis software
cos x	the cosine of x
cpm	cycles per minute
cps	cycles per second
dB	decibel(s)
FFT	fast Fourier transform
Fmax	the maximum frequency value on a spectrum
ft	foot (or feet)
ft/s	feet per second
ft/s ²	feet per second per second
g	acceleration due to gravity (9.80665 m/s ²)
Hz	Hertz
in	inch(es)
in/s	inches per second
kcpm	kilocycles per minute (1000 cpm)
kg	kilogram
kgf	kilogram force
kHz	kiloHertz (1000 Hz)
lb	pound(s)
lbf	pound force
lbf/in	pound force per inch
log x	the logarithm of x

Symbol	Meaning
$\log_{10} x$	the base-10 logarithm of x
m	meter(s)
mil	0.001 inch
mm	millimeter(s)
mm/s	millimeters per second
m/s	meters per second
m/s^2	meters per second per second
mV/g	milliVolts per g
<i>n.</i>	noun
<i>pref.</i>	prefix
rad	radian(s)
rad/s	radians per second
rms	root-mean-square
RPM	revolutions per minute
s	second(s)
sec	second(s)
$\sin x$	the sine of x
t	time
vb instrument	Commtest vibration analyzer
vdB	decibel unit for velocity
<i>w.r.t.</i>	with reference to
\bar{x}	the average value of x
x^2	the square of x (x times x)
1X	fundamental frequency
°	degree(s)
\sqrt{x}	the square root of x
θ	angle
\emptyset	phase angle
π	the constant pi (roughly equal to 3.14)
Σx	the sum of x values
ω	angular frequency (expressed in rad/s)