

振动和加速度计

Ver1.1

Revisions

版本	日期	说明
1.0	2016.09.06	创建初始版本
1.1	2017.01.30	修改部分文字

1. 机器的振动

我们知道，很多机器都是由转子和定子组成的，转子在转动，定子固定不动，但是由于积灰、不对中、不平衡等等原因，使得机器的整个身子都会发生振动：

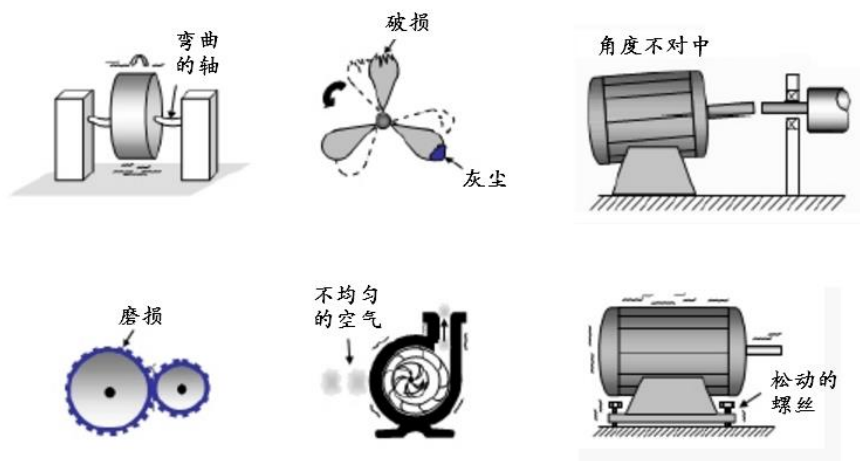


图 1 振动的机器

有的振动我们可以听到，有的可以摸到或者看到，但不管怎么样，振动变大了，总不是什么好事情，可能预示着某种故障，如果长时间工作下去，故障可能就要爆发了。

2. 如何描述振动

就像“温度”是用数值方式来科学地描述“冷、热”一样，振动也有一套自己的描述语言，其中最基本的两个数值是——振幅和频率。

(1) 振幅

振幅，表示振动的范围和强度的物理量。在机器振动中，振幅就是物体振动时离开平衡位置最大的“位移”的绝对值：

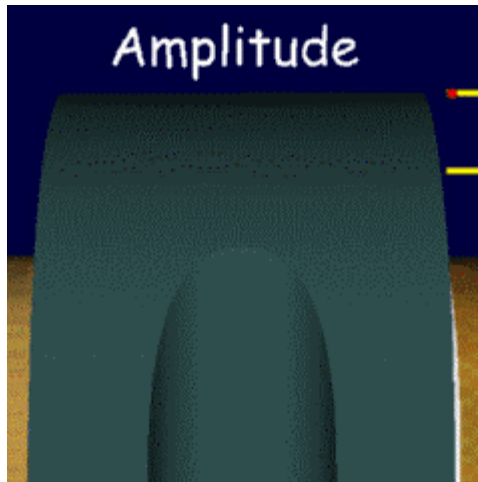


图 2 振幅

(2) 频率

频率，是单位时间内完成周期性振动的次数，单位为赫兹，符号为 Hz。

比如，物体的振幅从平衡位置，到最高点，经过平衡位置，到最低点，再回到平衡位置，就是一个周期了。单位时间内有多少个周期，就是频率：

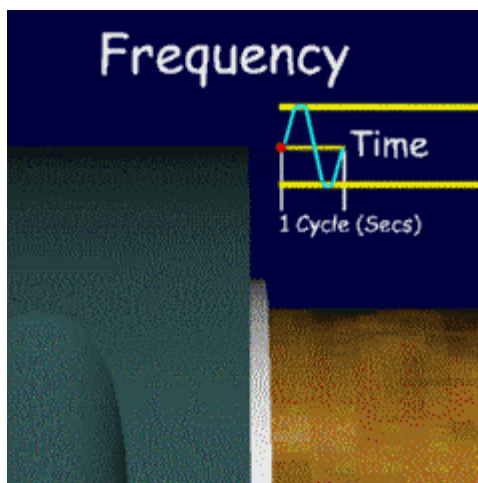


图 3 频率和周期

真实的机器振动形式很复杂，但往往可以被分解为一个个周期性的、具有固定振幅的小振动，而且每个小振动在数学上可以用“正弦函数”表示。

3. 位移、速度、加速度

振动也脱离不了牛顿运动定律：

- 位移：表示物体的位置变化，如前面说的“振幅”，就是位移的最大值。
- 速度：表示位移变化快慢的物理量。
- 加速度：表示速度变化快慢的物理量。

三者的关系是：加速度与时间的积分，就是当前的速度；速度与时间的积分，就是当前的位移。换句话说，速度是位移对于时间的一阶导数，加速度是位移对于时间的二阶倒数。

如果物体振动的位移随着时间的变化，符合一个正弦函数的曲线的话，那么，它的速度和加速度的变化，是什么样的呢？请看下图：

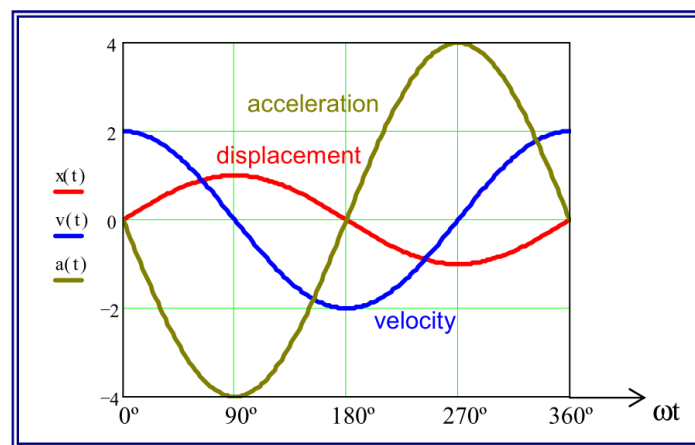


图 4 位移、速度、加速度

请注意几点：

- 知道其中一个变量，就能推算出另外两个变量；
- 位移和速度的相位差 90 度，速度和加速度的相位差 90 度；
- 纵坐标上，三者的单位不同，对于机器振动来说，位移通常是 ‘ μm ’（微米），速度是 ‘ mm/s ’，加速度是 ‘ m/s^2 ’；

4. 振动和频率

那么，既然位移、速度、加速度可以相互换算，我们应该用哪个来描述振动呢？答案是，取决于振动的频率。

第二节的图片是用“位移”来展示振动的，因为在振动比较慢的情况下，物体的振幅是我们可以亲眼看见的，但如果振动快起来，用“速度”甚至“加速度”来描述振动，可能更为合适。

这里引入一个数字——7.6 mm/s，这是业内认为大多数旋转型机器振动在 10Hz~1KHz 情况下的典型速度数值。

如果从频谱的角度去看，位移、速度、加速度的关系如下：

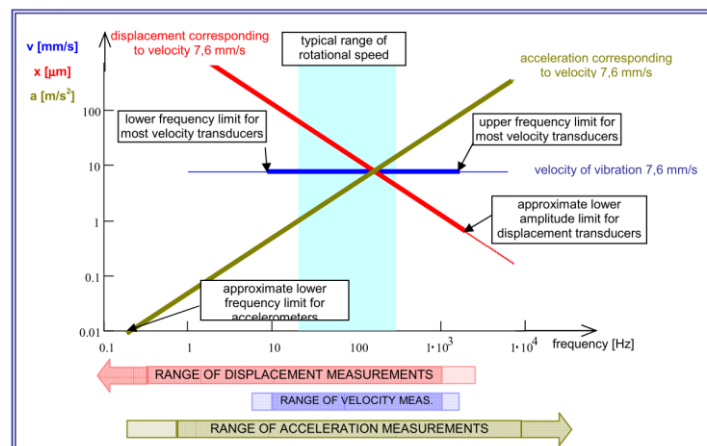


图 5 频率的影响

说明如下：

- 在 10Hz~1KHz 下，振动的速度保持 7.6mm/s，振幅为一根水平线；
- 位移的振幅，随着频率增高而下降；
- 加速度的振幅，随着频率增高而增高；

为了获得最好的信噪比，应取频谱上较为水平的数据作为分析依据，比如，振动速度 7.6mm/s 的情况下，如果不用“速度”作为分析依据，就可能把 1KHz 的“位移”数据或者 10Hz 的“加速度”数据当做噪声。

通常的选择标准是，低频时，选用“位移”作为分析依据；中频时，选用“速度”作为分析依据；高频时，选用“加速度”作为分析依据！

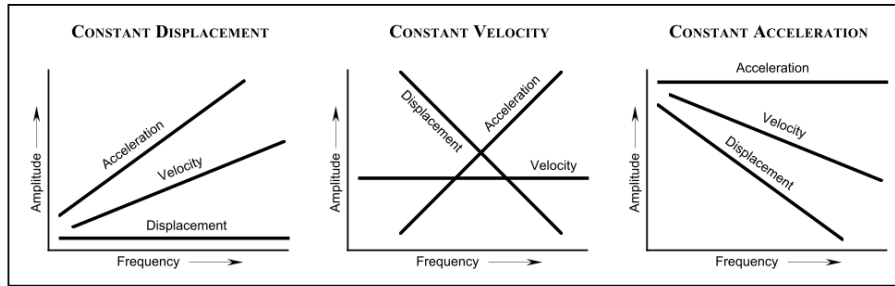
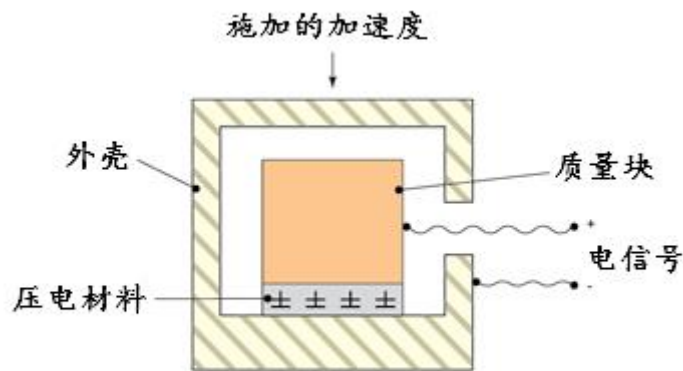


图 6 位移、速度、加速度和频率

5. 加速度计的原理

(1) 压电式

压电式加速度计由质量块（公式里的‘m’）、压电材料（通常为压电陶瓷或石英晶体）、外壳组成：



A basic diagram of a piezoelectric accelerometer.
image credit: PCB Piezotronics

图 7 压电式

根据压电效应，即某些类型的晶体在受到压力时会产生电压。被测物体的加速度传输到加速度计内的质量块，然后在压电晶体上生成相应的力。这个来自外部的压力会使晶体产生电压，电压与所施加力成正比，因而也与加速度成正比。

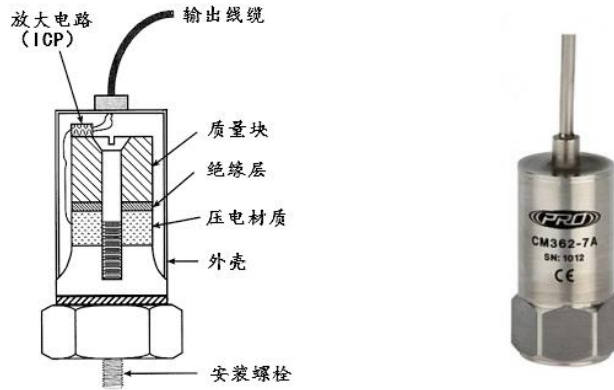


图 8 ICP 加速度计

压电式加速度计需要内置一个放大电路来放大所产生的电压信号，降低输出阻抗以便与测量设备兼容，以及最大程度降低对外部噪声和串扰的敏感度。最终，在输出端就可以通过电压信号去衡量加速度的数值了。

这种内部集成放大电路的压电加速度计，称为 ICP 加速度计。

(2) 电容式

容式加速度计是基于电容极距变化的原理：

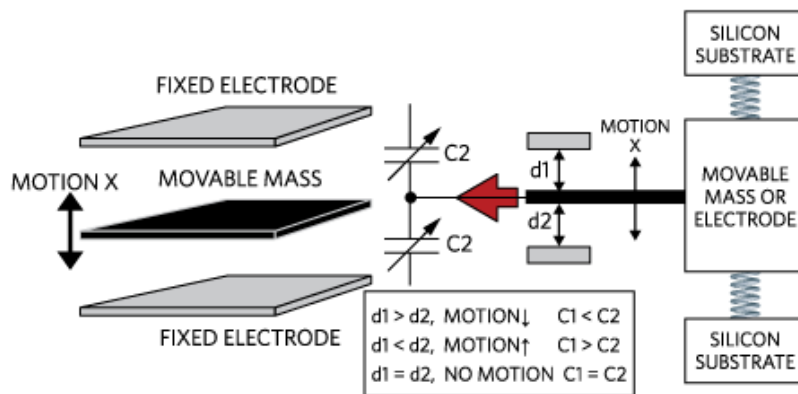


图 9 电容式

图中，当质量块受外力作用运动，会改变质量块与两个固定电极之间的间隙（ $d1$ 和 $d2$ ），进而使电容值变化（ $C1$ 和 $C2$ ），再通过衡量电容的变化去衡量加速度的数值。

实际上，为了放大信号，电容式加速度计里面不是一对电容，而是一堆电容阵列，规模非常庞大：

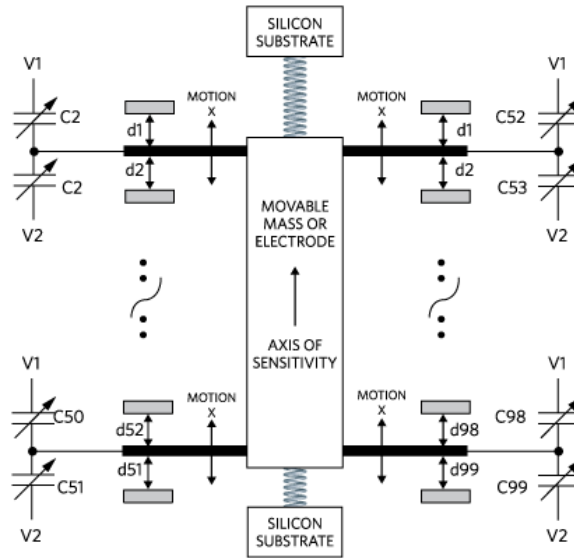


图 10 电容阵列

你能想象这么多小电容都集成在一颗小小的 2mm*2mm 芯片上吗？

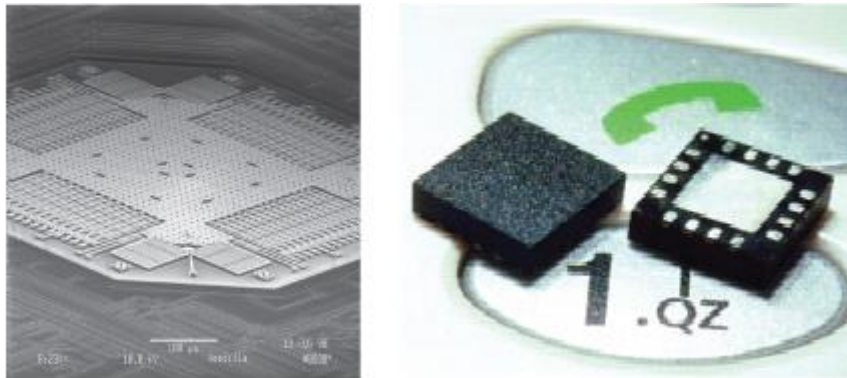


图 11 MEMS 加速度计

这就是基于微机电系统（MEMS）工艺的加速度计，它体积更小，在大量生产时成本也更低。

6. 加速度计的频率响应

一般我们会关注加速度计的灵敏度和测量量程等指标，但是还有一个“频率响应”也值得关注。

这是因为被测物体常常处于振动状态，所谓“振动”就是以一定频率做往复运动。然而，物体（包括加速度计）有自己的固有频率，也称为自然频率，当外界振动频率和物体的某阶固有频率相接近时，物体振幅会显著增大，就算是很小的振动源也会引发很大的振动，这种现象称之为“共振”：

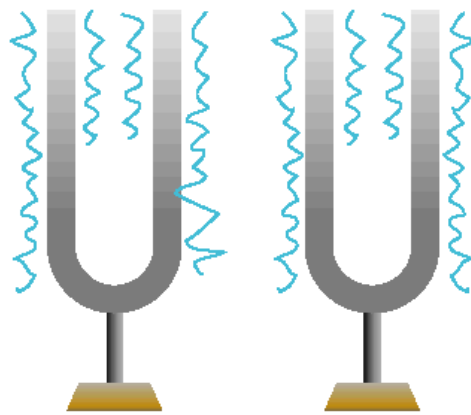


图 12 共振现象

对于加速度计来说，当共振发生时，其灵敏度就会降低，频率响应就是描述灵敏度和频率的特性曲线：

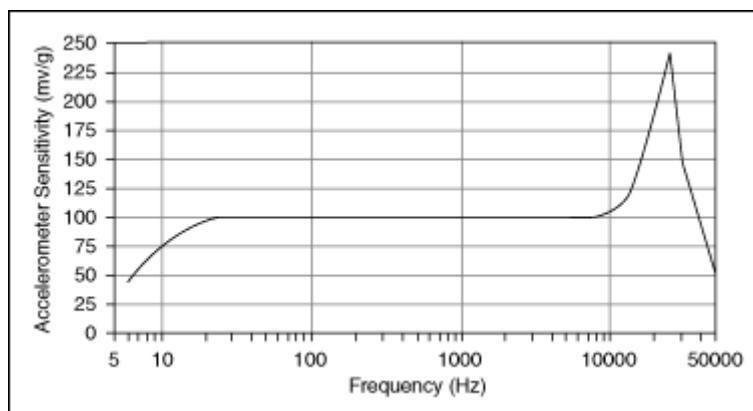


图 13 频响特性

一般来说，加速度计的有效带宽是固有频率的 $1/3$ ，MEMS 加速度计的有效带宽比较窄，而 ICP 加速度计的有效带宽更大，所以 MEMS 加速度计更适用于低频振动的测量（如手机等移动设备），ICP 加速度计更适用于高频振动的测量。

另一个需要考量的因素是，如何将加速度计安装到目标表面，有四种典型的安装方式：

- 手持式或探针针尖
- 磁式
- 粘接式
- 螺柱安装

各种连接方法都会影响加速度计的可测量频率。一般而言，连接越松，可测量频率越低。在加速度计中添加任何质量块，如粘接式或磁式安装基座，都可能影响加速度计的精度和可用频率范围。螺柱安装是迄今为止最好的安装方式，但需要给被测物体钻孔，通常适用于永久安装的情况。

7. 联系方式

姓名: 李先生

电话: (86)188 0181 9086

邮箱: liangfeng@wiihey.com

地址: 上海浦东张江博云路 111 号爱酷空间