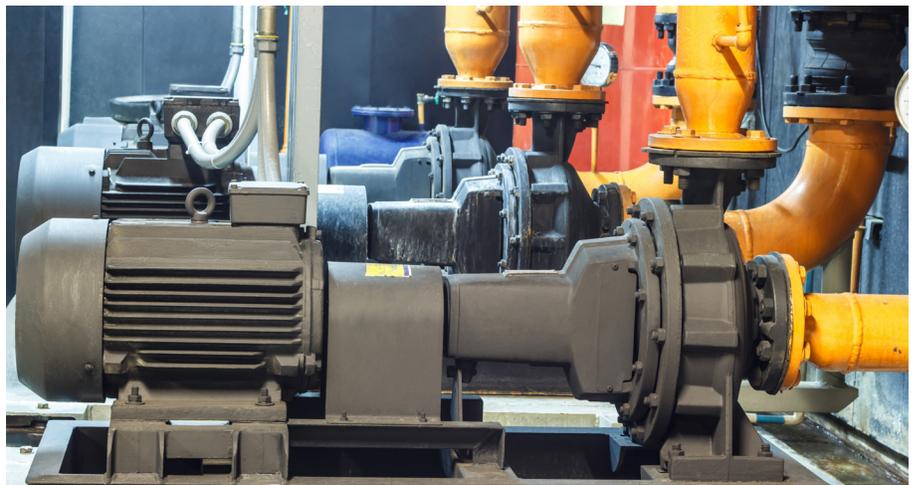


运用加速度传感器进行预测性维护



随着自动化程度的提高，客户对大批量、更小型系统的监测需求不断增加，这些系统包括机床主轴、传送带、分拣台或机床，它们均需要更好的预测性维护。

在这些应用中，机器故障时间是影响客户体验和盈利能力的一项关键因素。过去，加速度传感器主要用于对重型高端机械进行状态监测，例如风机、工业泵、压缩机和暖通空调系统。但是，在数字化产业转型的推动下，我们看到对大批量、更小型机械的监测需求正在增加。本白皮书将对工业设备状态监测应用中的不同加速度传感器技术进行对比。



关键因素

对于工业状态监测和预测性维护应用，以下振动规格参数对于确保长期、可靠、稳定和准确的性能至关重要。

- 宽频率响应
- 测量分辨率和动态范围
- 基于最小偏移量的长期稳定性
- 工作温度范围
- 封装选项和安装便捷性
- 传感器输出选项

宽频率响应

为了检测所有可能的机械设备故障模式，加速度传感器的频率响应应为轴转速（每分钟转速）的 40 至 50 倍，以便对设备中的轴承进行监测。对于风扇和变速箱，加速度传感器的最小频响上限应为叶片通过频响的 4-5 倍。频响下限不太重要，具体取决于机械设备；极少情况才要求频响小于 2Hz。

测量分辨率和动态范围

加速度传感器的测量分辨率是输出信号幅度与板载电子器件宽带噪声比值的函数。信号输出优异的加速度传感器可测量机械设备中振幅更小的振动。测量较低振幅的能力使最终用户能够比具有较低动态范围的传感器更早地预测故障。

一些其他因素也会影响测量分辨率，如环境条件、EMI/RFI（电磁和射频）干扰、DAQ（定义数据采集）接口和电缆长度，所以，在选择安装时需要考虑各种因素。

一般而言，输出信号应当比传感器噪声水平高出 10 倍，才能保证输出的测量结果可靠。

测量分辨率的简单公式如下：

$$\text{分辨率 (g's)} = \text{宽带噪声 (V)} / \text{传感器灵敏度 (V/g)}$$

长期稳定性

长期漂移是指灵敏度变化和 / 或零点输出测量变化（零点输出漂移仅适用于 MEMS 传感器）。在监测应用中，随着时间的推移，加速度传感器灵敏度的变化可能会触发误报警。零点输出测量的偏移也会产生可能导致误报警指示的相同效果。因为压电传感器没有直流响应，因此它们不易受零点漂移影响，只有灵敏度漂移。随着时间推移，MEMS 可变电容传感器可能会同时出现零点漂移和灵敏度漂移。

在下一节中，我们将回顾适用于状态监测应用的两种不同类型的技术。

压电加速度传感器

压电式 (PE) 加速度传感器包含自身的压电晶体，在受到外部激励（如振动机械）应力时，压电晶体会提供信号。

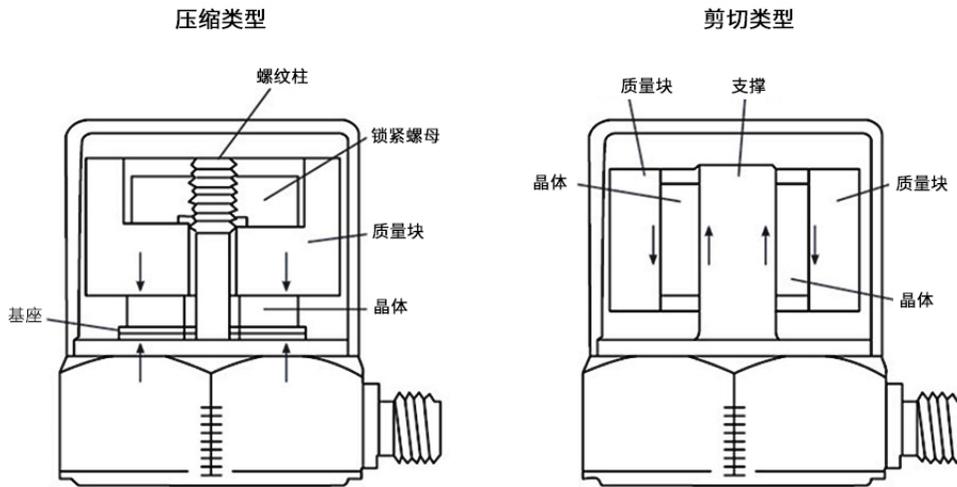
大多数压电式传感器都基于锆钛酸铅陶瓷 (PZT)，这些陶瓷经过极化处理，可排列偶极子并使晶体产生压电效应。由于 PZT 晶体可提供宽温度范围、宽动态量程和宽频带宽（可用带宽 >20KHz），因此 PZT 晶体是状态监测应用的理想选择。

一般来说，有两种主要类型的 PE 加速度传感器设计：压缩模式和剪切模式（挠性模式是很少使用的替换方案）。

压缩模式设计通过在压电晶体顶部加载一个质量块并施加预载力以使压电晶体受压来实现。由于性能限制，此类设计已经过时，不再那么流行。这类结构容易受到安装基座应变的影响，且具有较高的热漂移。

剪切模式设计通常包含一个环形剪切晶体，以及固定在一个支撑柱上的环形质量块。相比压缩模式设计，这种设计具有更好的性能，因为它的基座是隔离的，且更不易受到热应力的影响，从而提高了稳定性。目前提供的大多数状态监测加速度传感器设计都是剪切模式，应该是大多数状态监测装置的设计选择。

PE 加速度传感器设计

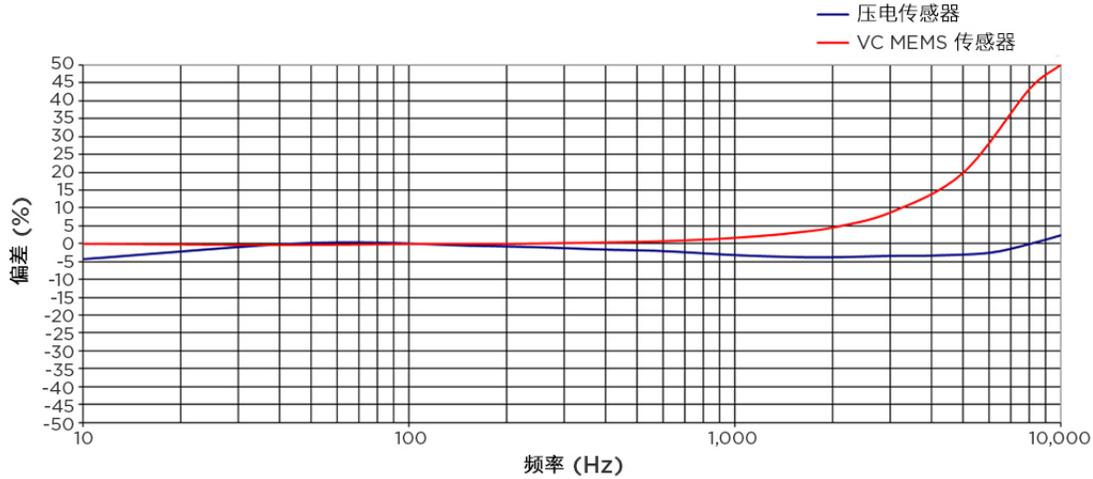


可变电容加速度传感器

可变电容 (VC) 传感器根据在两个平行电容板之间移动的振荡量块的电容变化来推导加速度测量值。电容变化与施加的加速度成正比。VC 加速度传感器要求 IC 与感应元件紧密耦合，以将微弱的电容变化转换成电压输出。这种转换过程通常会导致较差的信噪比和有限的动态范围

VC 传感器通常由硅晶片制造并制造成微型 MEMS (微机电系统) 芯片。

频率响应表



技术比较图

对于工业状态监测和预测性维护应用，以下振动规范参数对于确保长期、可靠、稳定和准确的性能至关重要。

- 宽频率响应
- 测量分辨率和动态范围
- 基于最小偏移量的长期稳定性
- 工作温度范围
- 封装选项和安装便捷性
- 传感器输出选项

在以下段落中，我们将比较典型压电状态监测加速度传感器和宽带 MEMS 可变电容加速度传感器（也用于状态监测应用）的这些关键性能规格。两种加速度传感器的满量程 (FS) 均为 $\pm 50g$ 。

频率响应

我们在 SPEKTRA GmbH CS18 HF 高频校准振动台（振幅范围为 5Hz 至 20KHz）上测试了两种加速度传感器的频率响应。传感器安装牢固，以确保在整个测试范围内获得准确结果。我们对每种技术（PE 和 MEMS VC）各测试了三个传感器，以确保结果的一致性。

测试结果说明如下。假设最大 $\pm 1\text{dB}$ 的振幅偏差作为可用带宽，但带宽容差通常使用 $\pm 5\%$ 的更严格的偏差。数据表明，VC MEMS 传感器的可用带宽高达 3KHz，而压电传感器具有一个大于 10KHz 的可用带宽（该特定 PE 传感器的可用带宽在最高 14KHz 的规格范围内）。

值得注意的是，PE 传感器的低频截止频率为 2Hz，而 MEMS 传感器的响应频率低至 0Hz，因为它是一个直流响应器件。

测量分辨率和动态范围

为确定压电传感器和 VC MEMS 传感器的测量分辨率和动态范围，我们在隔离室中对样品进行了测试，该室具有先进的测量设备，能够实现 micro-g 测量分辨率。这些装置安装在同一腔室内并同时进行测试，以消除外界环境干扰造成的任何误差。

测量在四个不同带宽设置下进行，并且在每个设置下测量残留噪声。测量结果详见下表。

各种带宽下的残留噪声比较

型号	0.03-300Hz $\mu\text{V-rms}$	0.03-1KHz $\mu\text{V-rms}$	0.03-3KHz $\mu\text{V-rms}$	0.03-10KHz $\mu\text{V-rms}$
PE 1	27.2	30.8	39.5	57.6
PE 2	25.1	31.7	38.6	56.3
MEMS 1	377.6	405.2	412.7	498.2
MEMS 2	415.7	430.2	453.9	532.1

测量分辨率和动态范围基于 0.03-10KHz 带宽计算，并在下面详述。PE 传感器的分辨率约高出 VC MEMS 传感器 9 倍。更高的分辨率带来更好的动态范围，使最终用户能够在更早的阶段检测潜在的问题。

测量分辨率比较

型号	分辨率	残留噪声	频谱噪声	动态范围	分辨率
	mg-rms	$\mu\text{V-rms}$	$\mu\text{g-rms}/\sqrt{\text{Hz}}$	dB	bit
PE 1	1.4	57.6	14.4	88	14.6
PE 2	1.4	56.3	14.1	88	14.6
MEMS 1	12.5	498.2	124.6	69	11.5
MEMS 2	13.3	532.1	133.0	68	11.4

基于最小偏移量的长期稳定性

PE 传感器的长期稳定性在 30 多年的现场安装中是众所周知的。压电晶体具有固有稳定性，随着时间的推移仍表现出优异的稳定性和长期漂移参数也将取决于所用的晶体配方，因此难以呈现实际值。石英材料的 PE 加速度传感器具有最佳的长期稳定性，但受产量和成本限制，极少用于状态监测中。PZT（锆钛酸铅—锆酸盐）晶体是 PE 加速度传感器中最常用的晶体，并且正日益成为大多数应用的理想晶体选择。

可变电容 MEMS 加速度传感器还具有宽范围的长期漂移限制，具体取决于 MEMS 设计结构。虽然体硅微机械加工 MEMS 传感器具有最佳的长期漂移，但其成本也明显更为昂贵，因此通常只用于惯性应用中。针对状态监测，MEMS 供应商提供了一种表面微机械加工 VC MEMS 传感器，这类传感器的成本虽然要便宜得多，但最终用户将无法获得较好的测量分辨率和长期稳定性。表面微加工设计的 MEMS 结构不如体硅微加工的 MEMS 传感器稳定。

工作温度范围

PE 和 VC MEMS 加速度传感器的工作温度范围相当，并且两者都适用于 -40°C 至 $+125^{\circ}\text{C}$ 的典型状态监测应用环境。在某些极端安装中，可能需要更高温度范围的传感器，其中充电模式压电传感器将是推荐的选择。不包括板载充电转换器电路的充电模式 PE 加速度传感器可用于超过 $+700^{\circ}\text{C}$ 的温度。

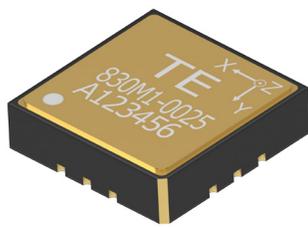
封装选项和安装便携性

对于小型机械的嵌入式状态监测装置，尺寸和安装选项都会成为选择加速度传感器的重要考量因素。大型机械通常使用外部 TO-5 螺柱安装的加速度传感器，但对于具有小型轴承和旋转轴的机械来说，则需要使用嵌入式或微型加速度传感器。

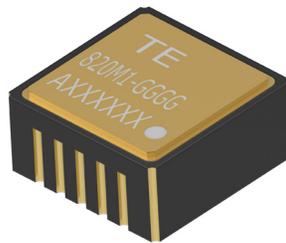
大多数 VC MEMS 加速度传感器采用 SMT 表贴式封装方式，该封装非常适合大批量 PCBA 组装。VC MEMS 传感器还提供非常小的封装方式，可实现更多封装选择。

PE 加速度传感器具有多种配置。可提供 SMT 安装版本，类似于 VC MEMS，但 SMT 封装的尺寸通常大于 VC MEMS 设计。PE 加速度传感器还采用坚固的 TO-5 罐封装，带有不锈钢外壳。这些设计允许直接安装到轴承座或嵌入式安装。下图展示了 PE 传感器的一些可用封装选项。

加速度传感器安装选项



830M1 三轴 SMT
加速度传感器



820M1 单轴 SMT
加速度传感器



805M1 单轴 TO-5
加速度传感器

传感器输出选项

根据具体的安装和应用，可能需要选择传感器输出信号选项。目前大多数预测性维护安装需要来自传感器的模拟信号，以便最终用户可以决定监测特定机械的哪些参数。通常，信号输出由 DAQ 或 PLC 接口驱动，而模拟输出（±2V 或 ±5V）是最常见的选择。但是，对于需要长电缆的安装，环路供电 4-20mA 的传感器也很常见。在未来数字化工厂和工业 4.0 中，对数字输出信号的需要将变得更加普遍，带有板载微处理器的智能传感器可以帮助最终用户做出即时维护决策。

这些输出信号选项均将在 PE 和 VC MEMS 传感器中提供。两种技术都能够提供这些功能。

汇总比较表

前面段落中讨论的所有或部分性能参数将帮助客户对状态监测装置所选择的技术做出明智的决策。下表提供了一个快速汇总。

压电与 MEMS VC 性能比较

关键参数	压电	MEMS VC
宽频率响应	X	
长期信号稳定性	X	
动态范围	X	
工作温度范围	X	X
封装选项	X	X
安装便捷性	X	X
传感器输出选项	X	X

结论

我们已经比较了 MEMS 和 PE 加速度传感器的不同技术特性。这两种技术各有优劣，具体取决于最终应用。在我们的工业状态监测和预测性维护应用中，压电传感器是显而易见的选择，由于其成熟的技术，它们可长期稳定地保持可靠性。凭借其宽频率响应，嵌入式 PE 加速度传感器是从低速到高速机械的理想选择，它们还可为早期故障检测提供更好的信号分辨率。

TE Connectivity (TE) 是全球行业技术企业，其创新的传感器解决方案可帮助客户将概念转化为智能互联新品。可在[此处](#)了解有关加速度传感器广泛产品组合的更多信息。

关于 TE CONNECTIVITY

泰科电子 (TE Connectivity, 简称“TE”) 总部位于瑞士, 是全球行业技术企业, 致力于创建一个更安全、可持续、高效和互连的未来。TE 广泛的连接和传感解决方案经受严苛环境的验证, 持续推动着交通、工业应用、医疗技术、能源、数据通信和家居的发展。TE 在全球拥有近 80,000 名员工, 其中 7,500 多名为工程师, 合作的客户遍及全球近 140 个国家。TE 相信“无限连动, 尽在其中”。更多信息, 请访问 www.te.com.cn, 或关注 TE 官方微信“TE 连动”。

作者

Bjorn Ryden

TE Connectivity 产品管理总监

联系我们

轻松联系我们的专家, 随时获取您所需的全部支持。
欢迎访问 www.te.com/support 与产品信息专家交谈。

北美

电话: +1 800 522 6752

欧洲

电话: +31 73 624 6999

亚洲

电话: +86 0400 820 6015

te.com/sensors

TE Connectivity、TE、TE Connectivity (徽标) 均为商标。此处提及的所有其他徽标、产品和 / 或公司名称是其各自所有者的商标。

本文档所提供的信息, 包括仅用作说明性目的的图纸、插图和原理图等, 均被认为是可靠的。但是, TE Connectivity 对其精确度或完整性不作任何担保, 也不承担与其使用有关的任何责任。TE Connectivity 仅履行 TE Connectivity 针对本产品制定的标准销售条款和条件中提出的相关义务, 对于因销售、转售、使用或滥用产品而造成的任何偶然的、间接的或相应的损害, TE Connectivity 概不负责。TE Connectivity 产品的用户应自行评估, 确定每种产品是否适用于特定应用。

© 2021 TE Connectivity 保留所有权利。

版本号 B 03/2021