

利用无线振动传感器实现连续可靠的过程监控

工厂自动化和总体效率理所当然地受到巨大的关注，原因不仅是生产率提高(哪怕一点点)能带来正面效益，而且同样重要的是，它能降低或消除设备停工造成的严重损失。现在，我们可以不用仰赖分析技术的进步来洞察可用统计数据以预测维护需求，或者简单地依靠加强对技术人员的培训，而是可以通过检测与无线传输技术的进步实现真正实时的分析和控制。

精密的工业生产过程(参见图 1)越来越依赖于电机和相关机械设备高效可靠、始终如一的运作。机器设备的不平衡、缺陷、紧固件松动和其它异常现象往往会转化为振动，导致精度下降，并且引发安全问题。如果置之不理，除了性能和安全问题外，若导致设备停机修理，也必然会带来生产率损失。即使设备性能发生微小的改变，这通常很难及时预测，也会迅速转化为重大的生产率损失。

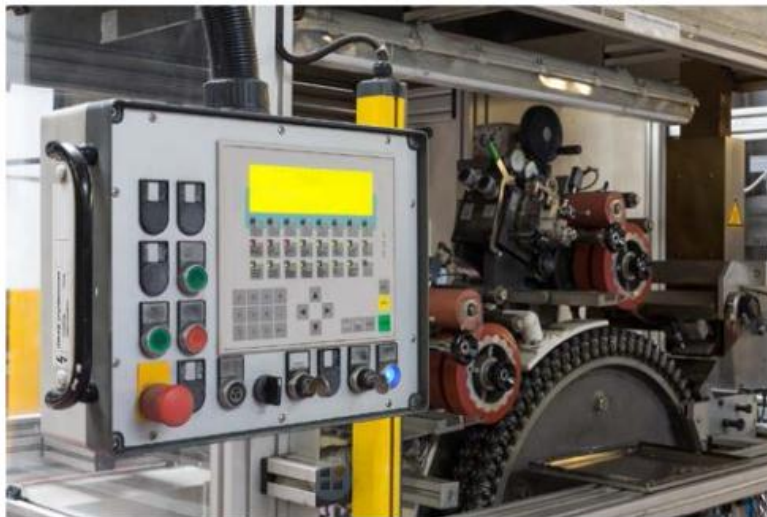


图 1. 工厂环境下的过程控制与维护自动化；无线检测网络的高价值目标

众所周知，过程监控和基于状态的预见性维护是一种行之有效的避免生产率损失的方法，但这种方法的复杂性与其价值不相上下。现有方法存在局限性，特别是涉及到分析振动数据(无论以何种方式获得)和确定误差源时。

典型数据采集方法包括安装在机器上的简单压电传感器和手持式数据采

集工具等。这些方法存在多种局限性，特别是与理想的全面检测与分析系统解决方案相比较，后者可以嵌入机器上或机器中，并能自治工作。下面深入讨论这些局限性及其与理想解决方案——自治无线嵌入式传感器——的对比。对完全嵌入式自治检测元件的复杂系统目标的选项分析可以分为十个不同方面，包括实现高重复度的测量、精确评估采集到的数据、适当的文档记录和可追溯性等，下面将对各方面进行说明并探讨可用方法与理想方法。

精确且可重复的测量

现有手持式振动探头(参见图 2)在实现方法上具备一些优势，包括不需要对终端设备做任何修改，而且其集成度相对较高，尺寸较大，可提供充足的处理能力和存储空间。然而，它的一个主要局限是测量结果不可重复。探头位置或角度稍有改变，就会产生不一致的振动剖面，从而难以进行精确的时间比较。因此，维护技术人员首先需要弄清所观察到的振动偏移是由机器内部的实际变化所致，还是仅仅因为测量技术的变化所致。理想情况下，传感器应当结构紧凑并且充分集成，能够直接永久性地嵌入目标设备内部，从而消除测量位置偏移问题，并且可以完全灵活地安排测量时间。



图 2. 现有的设备振动偏移监控手动探头方法缺乏可重复性和可靠性测量的频率和时间安排

在高价值设备的生产设施中，例如制造敏感电子器件时，过程监控极为有益。这种情况下，装配线的微小偏移不仅可能导致工厂生产率下降，而且

可能使最终设备的关键规格发生偏移。手持式探头方法的另一个明显的局限是无法实时指出有问题的振动偏移。多数压电传感器同样如此，其集成度一般非常低(某些情况下仅有一个传感器)，需要将数据传送到其它地方进行分析。这些器件需要外部干预，因此可能会错过一些事件和振动偏移。自治传感器处理系统则不然，它内置传感器、分析、存储和报警功能，同时仍然小到足以嵌入设备中，能够在第一时间告知振动偏移，并且最佳地显示基于时间的状态趋势。

了解数据

上述嵌入式传感器发出实时通知的构想，只有采用频域分析才能实现。通常，任何设备都有多种振动源，如轴承缺陷、不平衡和齿轮啮合等，此外还有设计带来的振动源，例如钻孔机或压制机在正常工作过程中产生的振动。基于时间的分析会产生一个综合所有这些振动源的复杂波形，在进行 FFT 分析之前，它提供的信息难以辨别。多数压电传感器解决方案依赖外部 FFT 计算和分析。这不仅使得实时通知毫无可能，而且将大部分额外设计工作推给了设备开发商。但是，如果传感器内嵌 FFT 分析功能，就能即时确定振动偏移的具体来源。这样一种完全集成的传感器元件还能缩短设备开发商 6 到 12 个月的开发时间，因为它功能完备、简单有效、自治工作。

数据访问和传输

嵌入式检测能够完美地提供精确实时的趋势数据，但这并不会提高向远程过程控制器或操作员传输数据的复杂性。嵌入式 FFT 分析的前提显然也是模拟传感器数据已经过调理并转换为数字数据，以便简化数据传输。事实上，目前使用的多数振动传感器解决方案仅提供模拟输出，导致信号质量在传输过程中降低，更不用说离线数据分析的复杂性(上文已讨论)。考虑到要求振动监控的多数工业设备往往存在于高噪声、运动、无法接近、甚至危险的环境中，因此业界迫切希望降低接口线缆的复杂性，并且同样在源端执行尽可能多的数据分析工作，以便捕捉到尽可能准确的设备振动状态信息。具有无线传输能力的传感器节点不仅有利于立即访问，而且可大大简化传感器网络的部署并显著降低成本。

数据方向性

现有的许多传感器解决方案是单轴压电传感器。这些传感器不提供方向信息，因而会限制我们对设备振动剖面的了解。缺乏方向性导致需要噪声非常低的传感器以便提供所需的分辨能力，这又会影响成本。多轴 MEMS 传感器则不同，如果各轴精密对准，确定振动源的能力将大幅提高，同时也有助于降低成本。

传感器的位置和分布

设备的振动剖面非常复杂，随时间而变化，并且还会因设备材料和位置不同而有所差异。确定在哪里放置传感器当然非常重要，其主要决定因素是设备类型、环境和设备的寿命周期。采用现有的高成本传感器元件时，探测点仅限于几个或一个，这个问题显得更加重要。这会导致前期开发时间显著延长，因为需要通过反复实验来确定最佳位置。但在大多数情况下，其后果是采集的数据量和数据质量会受到影响。幸运的是，现在已有集成度更高而成本大幅降低的传感器探头可用，每个系统可以放置多个探头，从而缩短前期开发时间和成本，或者使用数量更少、成本更低的探头就能满足要求。

适应寿命周期变化

手持式监控系统方法可以根据时间变化(周期、数据量等)进行调整，而要在嵌入式传感器中提供同样的基于寿命周期的调整，必须在前期设计和部署阶段就给予关注，实现所需的可调整功能。无论采用何种技术，传感器元件都是很重要的，但更重要的是传感器周围的信号调理和处理电路。信号/传感器调理和处理不仅取决于具体的设备，而且取决于设备的寿命周期。这在传感器设计中涉及到多种重要考虑因素。首先，模数转换处理最好尽早进行(在传感器头部，而不是在设备之外)，以便支持系统内配置和调整。理想的传感器应提供一个简单的可编程接口，通过快速基线数据采集来简化设备设置、滤波操作、报警编程和不同传感器位置的试验。对于现有的简单传感器，即使它们可以在设备设置时进行配置，但传感器设置仍然必须做出一些牺牲，以便适应设备在整个寿命期间的维护重点的变化。例如，传感器应针对设备故障可能性较小的早期阶段进行配置，还是针对故障可能性较大且更具危害性的晚期阶段进行配置最好使用可在系统内编程的传感器，以便随着寿命周期的变化而调整配置。例如，早期的监控相对比较稀疏，功耗最低；

观察到变化(警告阈值)后,重新配置为频繁监控模式(监控周期由用户设置);除了连续监控以外,还根据用户设置的报警阈值提供中断驱动的通知。

性能变化/趋势的识别

传感器适应设备寿命周期中的变化,在一定程度上取决于对基线设备响应的了解。利用简单的模拟传感器就能获得基线设备响应,即让操作人员进行测量,执行离线分析,并将此数据与适当的标志一起离线存储在特定设备和探头位置上。更好且更不易出错的方法是将基线 FFT 存储在传感器头部,这样数据永远不会误放。基线数据还有助于确定报警电平,该值最好也是直接在传感器上编程设置,以便在随后的数据分析和采集中,如果检测到警告或故障条件,可以产生实时中断。

在工厂环境中,一个适用的振动分析程序可能要监控数十甚至数百个位置,无论是通过手持式探头还是通过嵌入式传感器。在一台设备的整个寿命周期中,可能需要获得成千上万条记录。预见性维护程序的完整性取决于传感器采集点的位置和时间的适当映射。为将风险降至最低,以及获得最有价值的的数据,传感器应具有唯一的序列号和嵌入式存储器,并且能够给数据添加时间戳。

可靠性

上文重点讨论了现有针对过程控制和预见性维护相关的传感器振动监控方法的改善之道。就容错和监控而言,还应当细致审查传感器本身。如果传感器发生故障(性能变化),而不是设备发生故障,该怎么办呢?或者,如果采用完全自治工作的传感器(即上文所述的理想方法),我们对传感器持续正常工作能有多大信心呢?对于许多现有传感器,如压电传感器等,这种情况确实会造成严重的限制,因为它们无法提供任何系统内自测功能。随着时间的推移,必然会对所记录数据的一致性缺乏信心。在设备寿命晚期的关键监控阶段,实时故障通知在时间、成本和安全上都具有十分重要的意义,传感器是否仍然正常工作必然是关注的重点。高可信度过程控制程序的基本要求是能够对传感器进行远程自测。幸运的是,一些基于 MEMS 的传感器可以做到这一点。嵌入式数字自测能力就此填补了可靠振动监控系统的最后空白。

ADI 公司的 ADIS16229 就是一款完全自治的无线频域振动监控器,具有上

述十个关键方面所列的所有优势。ADIS16229 提供嵌入式频域处理和 512 点实值

FFT，片上存储器能够识别各种振动源并进行归类，监控其随时间的变化情况，并根据可编程的阈值做出反应。该器件提供可配置的报警频段和窗口选项，支持对全频谱进行分析，并配置 6 个频段、报警 1(警告阈值)和报警 2(故障阈值)，从而更早、更精准地发现问题。其核心是一个多轴宽带宽 MEMS 传感器，可配置的采样速率(最高 20kSPS)和均值/抽取选项支持更精确地评估细微的振动剖面变化。该 MEMS 传感器提供数字自测模式，让我们对其功能和数据完整性始终保持信心。该器件为完全嵌入式且可编程，可以放在振动源附近，并且能以可重复的方式及早检测小信号，避免了使用手持式设备时各次测量之间由于位置/耦合差异而存在数据不一致的现象。

和均值/抽取选项支持更精确地评估细微的振动剖面变化。该 MEMS 传感器提供数字自测模式，让我们对其功能和数据完整性始终保持信心。该器件为完全嵌入式且可编程，可以放在振动源附近，并且能以可重复的方式及早检测小信号，避免了使用手持式设备时各次测量之间由于位置/耦合差异而存在数据不一致的现象。

862MHz/928MHz 专有无无线协议接口允许将 ADIS16229 传感器节点放在远端位置，独立的网关节点 ADIS16000 则为系统控制设备提供标准 SPI 接口。通过该网关最多可控制 6 个远程传感器节点。

随着完全集成、高度可靠、自治工作、可配置振动传感器的出现，预见性维护程序开发人员终于能够摆脱以往振动分析方法的限制和不足，大幅提高数据采集过程的质量和完整性。利用这些提供高集成度和简化可编程无线接口的传感器，以前只有少数具备数十年机器振动分析经验的技术专家才能驾驭的振动检测工作，现在一般技术人员就能轻松胜任，有助于振动检测应用的推广。这种完全集成的传感器不需要改造线路和基础设施，能够更精确可靠地检测性能变化，为大幅降低前期开发和循环维护成本提供了机会。