

# 工业传感器应用发展报告

INDUSTRY SENSOR APPLICATION  
DEVELOPMENT REPORT

## 摘要

工业是人类对客观世界进行改造的最主要活动，工业发展的水平关系着产业，国家等方方面面。随着工业现代化的进程不断加快，亟需全面的对工业领域相关技术进行升级，在这其中离不开工业传感器的重要演进。

传感器负责收集外界及设备内的各类信息，并将信息通过物联网、云计算、AI和机器学习等方式，进行分析与处理。传感器的重要性毋庸置疑。作为感知的桥梁，传感器是数据的源泉，传感器连接了模拟世界与数字世界，担负着感知的桥梁。本报告将围绕HVAC、预测性维护、仪器仪表、机器人/协作机器人、精准运动控制以及半导体设备等重要的工业应用，阐述传感器技术的重要之处，典型特点以及市场应用。

**HVAC**

**预测性维护**

**仪器仪表**

**机器人/ 协作机器人**

**精准运动控制**

**半导体设备**

## 背景

工业4.0正处于高速增长期，而随着新冠疫情，则将进一步推动工业智能化、网联化的发展。自动化和机器人等技术可帮助减少对人工的依赖，并使员工能够抵御这些潜在威胁。它还可以提高生产率，从而防止因隔离需求而关闭工厂。

根据市场调研机构Mordor Intelligence的报告预计，2020年工业4.0的总市场为860.3亿美元，预计到2026年将达到2670.1亿美元，年复合增长率超过20%。随着制造业的工业4.0时代的到来，各种工业工厂都在采用数字技术来增强自动化和现代化整个过程，从而改善了工厂运营效率。

随着工厂连接设备的数量逐渐增加，再加上来自现场设备数据量的巨大增长以及不断变化的技术格局，使得公司无论大小都必须迅速适应数字世界的变化，工业4.0正在促使OEM们采用IoT技术进入数字化时代。

针对中国工业产业升级来说，随着《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和2035年远景目标纲要》发布，特别提出要加快发展现代产业体系，巩固壮大实体经济根基。《规划》要求推动制造业优化升级，深入实施智能制造和绿色制造工程，发展服务型制造新模式，推动制造业高端化智能化绿色化。

世界银行数据显示，2010年，中国取代美国，成为第一制造业大国。2019年则成为全球唯一拥有联合国产业分类中所列全部工业门类的国家，工业经济规模居全球首位。作为经济重要支柱和转型升级的关键，我国工业的智能化改造势在必行，智能化离不开传感器技术的广泛应用。

在2021年两会上，“碳达峰”“碳中和”被首次写入政府工作报告。其中，工业部门是我国实现碳达峰碳中和的重中之重。如何在智能化升级，从制造大国向制造强国的转变过程中，确保能耗的降低，实现高质量的经济增长，在这其中传感器也可以起到非常大的作用。

2020-2026年预估  
工业4.0总市场规模  
的年复合增长率

20%+

2020-2026年预估  
工业4.0总市场规模  
增长情况

2670.10  
亿美元

860.30  
亿美元

碳达峰  
碳中和

## 观点

根据Markets and Markets的报告，工业传感器市场规模预计将从2020年的182亿美元增长到2025年的290亿美元，复合年增长率为9.8%。工业4.0和IoT的日益普及以及工业机器人技术的需求不断增长是推动市场增长的关键因素。传感器技术与计算能力相结合，为客户提供了更高生产率的解决方案。

智能传感器具有收集，传输和处理信息的能力，在诸多制造业中对于智能传感器的需求越来越大。比如智能传感器在工业自动化和楼宇自动化中的使用，由于其能够监视和处理振动和噪声信号的能力，因此，他们能够检测机器的运行状况并预测其故障的可能性，从而帮助制造行业减少维护成本并通过最大程度地减少停机时间来节省更多成本。

因此，作为IIoT市场技术演进的关键，传感器正在朝向更加智能，更低功耗，更小尺寸，更高性能，更简单化的方向发展。

面对智能化的未来，TE Connectivity (TE) 提出了“未来感知，由我先知”的口号，以及“创新 (Innovation)”、“集成 (Integration)”、和“智能 (Intelligence)”三大价值主张。TE“创新”在于提供精确、可靠、高性能、高品质，能够满足严苛和复杂环境的创新传感器解决方案；TE“集成”，即增强与客户的合作协同设计解决方案，优化资源配置；TE“智能”，即聚焦智能传感器领域，成为“工程师的工程师”助力未来各领域的智能化发展。在三大价值主张的引领下，TE致力于让未来智能世界中的行业和个体，获得更多感知和探索未知领域的机会，从而构建更安全、可持续、高效和互连的未来。

2020-2025年预估  
工业传感器市场规模  
年复合增长率

9.80 %

2020-2025年预估  
工业传感器市场规模  
增长情况





## 典型工业应用

## HVAC系统用传感器

人们不断追求更好的工作、购物或居家的舒适性，在适宜的温湿度，才能保持愉悦的心情和良好的状态。随着智能建筑概念的兴起，对室内空气进行适度调节，保持舒适、均匀的温度与湿度，是HVAC（Heating, Ventilation and Air Conditioning）最重要的功能。同时在工厂环境中，温度与湿度控制对于确保机器长期运行以及生产环节也至关重要。

2021年一场覆盖全行业的可持续发展绿色行动已经拉开帷幕，在实现碳中和的过程中，HVAC的节能及环保问题，也成为了目前业界所关心的问题。首先是环保，空调制冷剂含有挥发性有机化合物，会危害臭氧层。而针对节能话题，据清华大学建筑节能中心测算，2018年我国建筑运行碳排放量在21亿吨左右，约占全社会排放总量的20%。

如今，为了实现HVAC的高效管理，提高生产力并增强建筑的可持续性，降低能耗的同时尽量提升舒适性，便捷性，HVAC系统正在引入更多IoT技术。

包括可以对温湿度进行智能调节，也可以更好地对暖通设备进行监控与运维，实现智能化的管理。随着HVAC系统的不断优化，HVAC用传感器的需求也迅速提升。据Industry ARC分析报告指出，2023年，HVAC传感器市场估计将超过24.07亿美元，在2017年至2023年期间的增长率为5.10%以上。

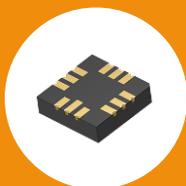
HVAC传感器主要布局在管道，房间，电缆，墙壁，浸入式等场所。传感器主要用于减少能耗、准确控制温湿度以及预测性维护等领域，测量及监控环境中的各种指标，例如温度、湿度、压力和空气质量。HVAC传感器类型包括温度传感器，湿度传感器，压力传感器，占用传感器，气体和挥发性有机化合物传感器等。

# 1 HVAC-温湿度传感器

HVAC的发展历史悠久，功能已经从仅控制温度（加热或冷却或兼而有之）发展到不仅监测和控制温度，而且还监测控制湿度、空气质量等其他方面。从湿度角度来看，几乎所有新型系统都可以监测和显示湿度，尤其是在工业环境中，可以控制建筑物内的相对湿度水平。为了始终能够高效提供理想的室内环境，很多暖通空调系统现在都配备了用于加湿和除湿的特定组件。湿度传感器不仅在监测室内外的湿度方面发挥着关键作用，而且还可以负责监测和控制用于修改湿度设备的关键元件。湿度传感器已经从具有有限测量范围和精确度的简单电阻设备，发展到可以在各种条件下高精度测量温度和湿度的全数字产品。

TE一款可表面贴装的湿度/温度数字输出组合传感器 HTU31，采用 2.5 x 2.5 x 0.9 mm 6引脚DFN封装，是市场上尺寸小且精确度高的湿度传感器。即使在严苛的环境下，HTU31也能够提供响应速度快、测量精确度高、迟滞低和持续性能好的特点。

这些高精度传感器每个都经过校准，并进行了序列化以实现可追溯性，其相对湿度的典型精度为  $\pm 2\%$ ，温度的典型精度为  $\pm 0.2^\circ \text{C}$ 。具有响应时间短，功耗小的特点。这些传感器既提供可配置地址的数字I2 C接口版本，也提供具有0.5-4.5V输出的模拟接口版本。除HTU31外，TE还拥有其他一众湿度感测产品，包括HTU2x系列数字湿度/温度传感器、HTU35和HTU38 湿度和温度模块、HM和HTM 湿度/温度和单湿度探头，以及HS1101LF湿度元件。TE湿度传感器系列采用电容式传感技术，该技术可以感应整个0-100%范围内的相对湿度，能够对变化的相对湿度水平迅速做出反应，并且可以从冷凝中快速恢复。配备的温度传感器，可以直接计算露点，并且能够监测房间或外壳内的温度。



- 可表面贴装
- 尺寸极小
- 响应速度快
- 测量精确度高
- 迟滞低
- 持续性能好



**HTU31**  
湿度/温度数字输出组合传感器

**HTU2x系列**  
数字湿度/温度传感器

**HTU35和HTU38**  
湿度和温度模块

**HM和HTM**  
湿度/温度和单湿度探头

**HS1101LF**  
湿度元件

## 2 HVAC-压力传感器

在暖通自控系统当中，末端传感器和控制器是保证整个系统平稳运行且达到节能效果的关键部件。

在中央空调的室内通风口处，压差式压力传感器被用来监测出风口处的滤网两端的气压差。过滤网用来过滤通风管道中的灰尘杂质，随着时间的累积，过滤网上的灰尘越积越多，渐渐影响到滤网的空气流通，也影响人们的身体健康。由于空气流通不畅，滤网两端的气压差不断增大。压力传感器感测到压力变化，上位机接收到来自压力传感器的信号，当这个信号值达到报警点时，就会开始报警，提醒更换或者清洗滤网。

压力传感器还可以通过测量空气流量和压力来提高空调系统的效率。通过对空气压力、质量和通风的评估和监测，压力传感器可准确判断出合适的通风量。此外，通过测量不同位置或房间的的压力和气流，HVAC系统可以优化供暖、冷却及空气流动，降低能耗与成本。

随着TE收购SMI，现在可提供超低压传感器，可用于监视压缩空气系统中的过滤器，并监视/调节变风量和分区系统中的气流。

SM9000 / SM7000 / SM6000 / SM5000 系列产品在表压、差压或不对称差压配置中提供0.07至2.49 PSI的压力范围。这些传感器能够检测到细微的压力变化，且精确度高，可提供长期的稳定性。该系列提供JEDEC标准SOIC-16封装，具有双垂直或水平安装选项，适合表面贴装。通过双端口传输，可以进行基准测量，从而最大限度减少环境压力变化造成的误差。

该系列压力传感器内部集成了信号调理ASIC，可以从数字接口获取高水平的校准压力信号。这消除了对额外电路（如包含自定义校正算法的补偿网络或微控制器）的需求。





## 典型工业应用

## 预测性维护

目前，大部分机器的状态还是由操作员依靠自己的直觉和经验来判断，但这并不可靠。而对于保养工作，操作员大部分都是严格按照运维手册定期保养，这其实很难检测突发事件，并且无法发挥机器的最大工作效率。预测性维护和基于条件的维护（PdM / CbM）概念的引入，可以帮助企业运维人员在机器需要维护之前就发现这些问题。这类主动维护的方式都可以提高可靠性、减少停机时间、提高工作效率。

随着机器学习的出现，再加上高效的大数据分析，并行处理框架以及高精度可安装的传感器，正在改变机器状态监控市场。而如今工厂的自动化系统愈加复杂，越来越需要将机器状态监视系统与其他机器维护系统（例如工厂资产管理（PAM）和计算机化维护管理系统（CMMS））集成在一起。振动监测系统与PAM和CMMS的集成有助于确保根据分析的结果生成资产状况的整体视图，并避免高昂的停机时间。

根据Markets and markets的报告，预计全球机器状态监控市场规模将从2021年的26亿美元增长到2026年的36亿美元，年复合增长率CAGR将达7.1%。预测性维护的总体思路是直观、准确、及时，因此预测性维护系统需要依靠大量的传感器数据进行机器状态监控。其中包括温度、压力、振动、旋转速度、电流、液体特性等传感器，通过传感器收集数据后，再由AI进行训练与推理以确保预测性维护的实施。

随着物联网和自动化的扩展，不仅是大型设备，小型系统也需要增加状态监测传感功能，如机床主轴、传送带、分拣台和机床借助合适的传感器，可以在任何工业应用内完成状态监测，进行预测性维护，以确保操作可以根据需要正常运行。

## 1 工业状态监测传感器—振动传感器



**TE 8911无线加速度计**

旋转设备资产状态监测是一种管理工厂可靠性和安全性的方法，经数十年实践证明行之有效。振动监测是其中的主要部分。传统上，加速度传感器安装在机器上，通过硬连接方式接回中央机械保护系统（例如振动监视器）。这种技术虽然可靠，但价格昂贵，因此通常用于大型旋转机器，如蒸汽涡轮机或大型燃烧（气体）涡轮机这类对工厂运营“至关重要”的机器。而对于不太重要的资产（即所谓的配套设备），如离心泵和压缩机等，安装这类状态监测系统的业务案例则少之又少。然而，在某些情况下，这些机器的可用性对工厂的安全可靠运行亦非常重要，不能有丝毫损失。为此，需要经济实惠的状况监视器配套设备。

作为一种解决方案，无线加速度传感器被提出已有十余年。许多商业实施的结果好坏参半，原因有多种。而在TE看来，随着工厂运营者对于以经济实惠价格获取数据的需求日增，物联网设备的边缘计算技术和数字无线电性能的提升，加上电池性能的提高，推出这种无线传感器的技术和市场力量已充分融合。

TE设计了 8911型无线加速度传感器。这款传感器具有易于扩展的无线架构，可满足工厂运营者对机器状况数据的需求。其中内置 LoRa™ 无线电技术并使用 LoRaWAN™ 协议与无线网关通信，根据采样率可实现长达5年的电池寿命。8911 型无线加速度传感器可安装在复杂的工厂环境中，无需担心信号完整性问题，它具有边缘计算能力，可计算处理的机器数据。

## TE嵌入式加速度计

工业状态监测的加速度传感器类型主要包括PE压电式加速度传感器和可变电容（VC）MEMS加速度传感器。

对于工业状态监测和预见性维护应用，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，具体包括：宽频率响应、测量分辨率和动态范围、长期稳定性，偏移量小、工作温度范围、封装选项，易于安装、传感器输出选项。

两类传感器具有不同特性。其中PE传感器具有长期稳定性，已成功商用了30多年。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。VC MEMS 加速度传感器相对较新。由于设计结构问题，MEMS传感器具有固有的漂移缺陷。

虽然体硅微机械加工 MEMS 传感器具有最佳的漂移抑制，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。

两种产品各有优劣，具体取决于最终应用。但是在工业状态监测和预见性维护应用中，PE传感器是更好的选择，由于其成熟的技术，它们可长期稳定地保持可靠性，同时还具有宽频率响应，更好的信号分辨率等。

TE提供了包括单轴/三轴 SMT 安装版本，以及TO-5封装的PE传感器，这些设计允许直接安装到轴承座或嵌入式安装。



### 805M1

是一款基于 3 针 TO-5 封装的小尺寸粘贴安装电压输出加速度传感器。最大支持  $\pm 500$  g 测量范围，灵敏范围为 4-100mV/g，支持粘合剂或螺钉安装。



### 820M1

压电式  $\pm 1.25$ V 输出的单轴 PE 加速度传感器，是一款低成本、板安装式加速度传感器，专为嵌入式状态监测与预测性维护应用而设计。频率响应范围为 2Hz 至 10000Hz。量程最大可支持 6000g。



### 830M1

是一款三轴 PE 加速度传感器，同样具有频响范围宽、小尺寸、低功耗和可靠性高等特点，最大支持 2000g 量程范围。

## TE IEPE型加速度传感器

IEPE型加速度传感器内部集成了ASIC信号调理电路，可以直接将传感器采集到的数据进行处理，无需后续的处理电路，使用同轴电缆传输信号，尤其是针对长距离传输，具有小型化、低功耗、强抗干扰能力和高智能化程度，满足数字化预测性维护的需求，越来越受到智能工厂的欢迎。

TE IEPE型传感器包括8711/8811/8021/8011等系列，具体优势如下：

- 采用不锈钢焊接外壳，对各种严苛环境有较好的适应力
- IEPE技术的应用使其能够有效阻挡电磁干扰
- 产品高量程及高频率响应，既保证灵敏度又适应较大加速度范围

TE的IEPE系列可直接安装于传统控制系统形态DCS或可编程序控系统PLC，其操作方便快捷、适合大规模投入使用，确保TE传感器在广泛的应用场景中向监测网络传输可靠数据，为设备异常做好准确预判。



### 8811-01

是一款坚固的内部屏蔽 IEPE 加速度传感器，具有最高达  $\pm 2.5$  kV 的定制防雷击保护，设计用于可能暴露于雷电环境下的严苛工业状态监测。



### 8711-01

是一款坚固耐用的内部屏蔽式 IEPE 加速度传感器，专为设备状况监控而设计。



### 8021-01

是坚固的内部屏蔽 IEPE 加速度传感器，适用于严苛环境。

## 2 工业状态监测传感器—液体特征

液体特征测量是工业现场中常见的传感器，用于测量液体的粘度、密度、介电常数和温度，从而判断液体何时达到其使用寿命。



### FPS2800

TE的FPS2800传感器，基于音叉原理技术，并内置高效的软件算法，具有高度集成、坚固封装、数字CAN接口、内置诊断以及经过工厂校准等多种优势，应用于工业和商用车辆润滑油品质等全生命周期监控。

## 3 工业状态监测传感器—轨交状态监测传感器

铁路轨道交通车辆状态监测和诊断系统是行车安全保障体系的关键，TE应用于轨交状态监测的传感器包括嵌入式压电加速度计、用于乘客舒适度监测的直流响应加速度传感器、用于轨道状态监测的加速度传感器、精确的横向加速度测量等。

受电弓系统是列车从接触网取得电能的关键电气设备，并且易于磨损，因此将状态监控引入受电弓系统可更好地进行维护、保养及更换。TE提供了用于接触网检测的三轴加速度传感器7139A、舒适和安全应用的加速度传感器4314/4334，转向架三轴加速度传感器7138A等，为“智慧高铁”提供整体传感器方案。7139A三轴加速度传感器具有测量稳定性、灵敏性、耐高低温冲击、耐高压、高IP防护等级等高可靠性，特别适合受电弓系统。



### 7139A

7139A三轴加速度传感器具有测量稳定性、灵敏性、耐高低温冲击、耐高压、高IP防护等级等高可靠性，特别适合受电弓系统。

## 4 其他

TE还提供了广泛的各种类型的传感器，包括火灾余压等特殊应用传感器，以及温湿度传感器、压力传感器、液体特征传感器、位移传感器等产品。

作为跨国传感器供应商，TE正在通过高可靠性，高精度，灵活配置，多产品布局等方式，帮助各行业的工业客户更好地导入预测性维护等先进的数字化技术。



## 典型工业应用

## 仪器仪表

如果说传感器是人类五官的延伸，用来获取自然和生产领域中的可靠信息，那么仪器仪表就相当于工业生产中所有设备及传输通路的“五官”，负责监控和采集工业系统每个环节的数据。仪器仪表对于过程控制系统是至关重要，可以就过程控制进行实时测量，以及对过程变量进行有效控制，确保生产线高效，安全和经济地运行。

据Verified Market Research报告数据，2019年，工业过程仪表市场的价值为167.3亿美元，预计到2027年将达到217.6亿美元，复合年增长率为8.79%。

智能化工厂需要确保全生产生命周期的过程是自动化监控与控制的。仪器仪表则负责监控生产过程中的全部数据，这些数据经过收集、传输、处理与反

馈，从而驱动自动化生产过程有序高效地进行，因此仪器仪表是工业自动化、智能化的重要支撑。随着人工智能与边缘计算的发展，仪器仪表也需要支持人工智能从而在终端实现数据的快速处理，避免因传输延迟而影响整体生产过程。

传感器是仪器仪表进行数据采集的重要途径，负责为仪器仪表收集工业现场的数据。仪器仪表的量程、准确度、可靠性等，主要依赖于传感器的性能，因此如何选择一款适合的传感器，是工业仪器仪表设计的首要任务。

以下我们介绍仪器仪表中三种重要的传感器，通过了解这些传感器原理和选型等，将会对仪器仪表中使用的传感器有更深入的理解。

## 1 仪器仪表—压力传感器

压力传感器最重要的是要满足工业仪器仪表领域不断发展及创新的要求，其准确的压力测量及长期稳定性至关重要。随着仪器仪表的发展，高精度、小型化、智能化、数据化是主要的发展趋势。伴随着整体工业系统复杂化演进，需要越来越多具有更高精度的仪器仪表，以准确测量和获得到整体系统的各种数据和信息；其次，受现场位置和重量的限制，产品也越来越要求小型化、微型化；第三，随着物联网、5G技术和其他联网技术的兴起，仪器仪表需要采集更多的数据和信息，这不仅对总体的采集数量有更多的需求，同样对每个节点来说，采集的数据或信息也要求更加准确和多样。



### 85系列

TE不锈钢隔离85系列压力传感器是一款外形小巧、介质兼容性好的硅压阻式压力传感器，封装在316L不锈钢壳体中。该款14位数字压力传感器支持I<sup>2</sup>C和SPI输出协议，供电电压为3.3或5.0Vdc，可采用焊接式结构或者直接通过螺纹进行过程连接。传感器通过硅油将压力从316L不锈钢隔离膜片传递到感应元件上。85BSD压力传感器产品可广泛设计和应用于高性能、低压力量程应用领域。TE特别定制了ASIC芯片，采用数字处理技术，以实现传感器的温度补偿和偏差修正，方便不同的客户进行数据采集和处理。



### TEI-19D

TE新推出的TEI-19D是新一代高精度数字压力传感器，特别适合工业天然气流量体积修正仪。其在-20~65℃温度范围内具有0.2%读数精度和0.4%总误差带（TEB）。高精度压力输出，满足气体流量计系统规格，无需在客户设施进行二次校准，数字接口协议使TEI-19D无需数据转换即可无缝集成到客户系统中。



### MS5803

TE板装式压力传感器MS5803，具有小巧紧凑、重量轻，性价比高等特点。功耗仅为1μA，数字分辨率达24位，支持数字输出信号。具有较强的抗腐蚀性和耐久性，可用于燃气表等应用。

## 2 仪器仪表—温度传感器

在工业过程控制过程中，由于一些产品的特殊性要求，通常需要准确快速的温度控制以调整产品的反应合成速度，从而确保产品质量。在自动化生产过程中，广泛使用温度表来检测和调节温度变化。通过热电偶和热阻传感器反映温度变化，并将数据传递至温度采集设备中进行实时检测和分析。

TE的PTF系列产品使用铂材料，其温度特性曲线符合DIN EN 60751。用铂作为电阻材料具有出色的长期稳定性。此RTD体积小、质量轻，具有快速响应时间和低时间常量，是快速、精确反馈控制系统的良好解决方案。



### PTF系列

该产品具有宽工作温度范围：-50℃至+600℃（金包镍导线的Class F 0.3 PTF，银导线版本限制为300℃），产品在寿命期内具有非常低的偏移，以及快速的响应时间。支持多种外形尺寸来满足各种空间要求。

## 3 仪器仪表—磁阻传感器

编码器是一种将旋转位移转换成一串数字脉冲信号的旋转式传感器，这些脉冲能用来控制角位移，如果编码器与齿轮条或螺旋丝杠结合在一起，也可用于测量直线位移。编码器通常包括了光学和磁性两种测量方法。随着对流量计测量精度要求的不断提高，在流量计上增加编码器，利用其输出的脉冲信号进行统计和显示测量结果，已经成为数字化流量计的主要工作方式。编码器与流量计中的转子相连接，转子随着流速进行旋转，产生的磁场通过磁性传感器将其转换为信号并输出。

### KMA36



通用非接触式磁性编码器，可实现精确可靠的测量。TE KMA36磁性编码器使用各向异性磁阻 (AMR) 技术，能够以非接触方式准确确定外部磁铁 360° 范围内的磁场角度，分辨率高达15位。

KMA36 通过I<sup>2</sup>C接口提供低功耗休眠模式。此外，通过使用可编程参数，用户可获取多种配置选项，从而提供最大的自由度和功能性。KMA36磁性编码器IC可用作线性位移传感器和旋转位移传感器，具有较大的空气间隙公差。测量在温度范围内均保持可靠，同时对热应力不敏感。这款通用磁传感器的免维护操作和高带宽特性使其成为严苛环境中动态应用的理想选择。



## 典型工业应用

## 机器人/协作机器人

随着工业对于生产效率的需求不断提高，机器人及自动化已经逐渐成为现代化工厂的标配。由国际机器人联合会（IFR）发布的《新世界机器人 工业机器人 2020》(The new World Robotics 2020 Industrial Robots) 报告显示，2019 年，中国的新机器人销量出货量约为 14.05 万台。2020年中国工厂有 78.3 万台工业机器人在运行，增长21%。预计全球工业机器人市场将在2019年至2027年间持续稳定增长。根据Statista的数据统计指出，2019年，全球约有270万台工业机器人在运行，市场规模估计将近400亿美元，预计到2027年，市场规模预计将超过1000亿美元。

机器人市场按照应用来划分，可分为工业机器人、服务机器人和协作机器人等。IFR将工业机器人定义为“自动控制、可重复编程、具有三个或以上可编程轴的多功能机械臂，其机械臂可以是固定的或移动的，用于工业自动化应用程序”。

协作机器人则定义为是一种和人类在共同工作空间中能进行近距离互动的机器人。与工业机器人不同，协作机器人能和人类近距离接触，在生产生活中充当不同的角色，如在办公室环境下它可以是和人类一起工作的自主机器人，在工厂中它可以充当没有防护罩的工业机器人。

无论哪类机器人，都离不开传感器。传感器赋予了机器人视、力、触、嗅、味等多种感知能力，它们不仅能从外部赋予机器人感知功能，还能用于检测机器人自身的内部工作状态，通过对各关节的位置、速度、温度、载荷、电压等信息进行探测和了解，有效保证和提升机器人自身的运作和灵敏度。

随着工业 4.0 趋势的发展，在工厂车间使用机器人、采取自动化和控制系统已成为提高生产效率和盈利能力的重要方式。对工业机器人自动化需求的提高，使得传感技术将继续成为数据收集的重要基础。

## 1 协作机器人 – 扭矩传感器

扭矩传感器是用于测量反作用扭矩和旋转扭矩的传感器。扭矩仪带有一体式机械限动器，可增加过载容量并在安装和操作期间提供额外保护。TE为动态和反作用扭矩测量提供各种小量程传感器。可使用单个器件同时测量反作用扭矩和力，这些传感器还可以检测角度位置并提供速度测量。

和工业机器人不同，协作机器人需要同工人进行交互，因此对安全性要求愈发强烈，需要集成大量监测和控制技术。其中一个技术是安全扭矩传感器，它可监测协作机器人上各种旋转枢轴点的机械扭矩。

安全扭矩传感器通常集成在协作机器人的关节单元中。关节单元是一个完整的系统，通常包括一个或多个角度传感器，以及电机和谐波减速机。关节单元可驱动机器人每个手臂的运动，而扭矩传感器用于检测电机和谐波减速机内的扭矩。扭矩水平由控制电路用于关闭关节，以防止对机械臂本身造成损害，或者，如果协作使用，则防止相应的工人受伤。在机器人应用中，从使用功率限制系统到使用扭矩传感器的转变是由扭矩传感器为系统提供的优势推动的。扭矩传感器可缩短响应时间并提高精度，从而提高机器人系统的安全性和可靠性，并确保人员的安全性。



### Cobot环形安全扭矩传感器

TE Cobot环形安全扭矩传感器以一件式挠曲件为起点，该挠曲件设计用于将旋转扭矩转换为机械应变。扭矩传感器基于集成的 MEMS 称重传感器，可以将机械扭矩转换为与施加的扭矩成正比的数字输出信号。根据不同应用，可以建立扭矩阈值，让协作机器人在任何人受伤之前或对协作机器人本身造成任何损害之前关闭。

TE的安全扭矩传感器旨在提供准确的扭矩数据，同时更大限度减少交叉载荷误差（轴向载荷、径向载荷和倾斜力矩），并可充当谐波减速器中的密封壁。为了符合 ISO13849 类别 4 PL e 的功能安全要求，安全扭矩传感器的设计基于双通道系统，并包含用于检测任何安全相关故障的其他功能。TE的安全扭矩传感器专门针对协作机器人进行了优化，对串扰具有低易感性，从而增加了精确度。支持定制机械接口，传感器可轻松进行调整尺寸和测量范围，以满足客户的特定要求，在提高协作机器人的安全性和可靠性方面发挥着重要作用。

## 2

## 机器人 - 力传感器

机器臂中需要大量的力检测和力反馈数据，来确定抓取物体过程中的力度是否合适，以及通过不同的称重数字保证制造过程的一致性。其中，力传感器担当着机械臂受力的使命。力传感器最基本的特性是灵敏度、稳定性、可重复性和精度。此外，力传感器还能够在正常使用和操作过程中承受一定程度的高过载（包括意外跌落和其他不可预见的压力）而不会损坏。



## FX29 按钮压缩式力传感器

TE的 FX29 按钮压缩式力传感器，兼具高性能和性价比，同时设计尺寸非常紧凑。

核心传感元件是一个半导体微机械硅压阻式应变片。每个力传感器有四个精心排布的 MEMS 裸芯片。这些应变片根据密切匹配的热/电工作特性配对，形成一个惠斯通电桥，其中两个应变片测量张力，另外两个应变片测量压缩力，应变片所依附的基板可在受到外界力或扭矩作用时变形。电桥产生的差分电压输出信号与外界施加在 FX29 基板上的力的大小成正比。

与许多制造商使用的粘结箔应变片 (BFSG) 技术相比，半导体应变片具有 75 倍的灵敏度，因此可支持更硬的负载受力结构和更小的应力等级，但仍可产生 10 倍的信号输出，十分适合对于灵敏度和稳定性有高要求的机器手臂的应用。

## 3 机器人 – 磁阻传感器AMR

机器臂除了要监控动作的力度之外，还要监控其运动轨迹，并且对精度和响应有很高的要求。机器臂在作业过程中会产生电流，磁阻传感器会以增加垂直磁场的方式监测期间的阻值变化，从而测量出机械臂的角位移，以监测设备了解机器手臂的运动轨迹。

有些材料中磁阻的变化，与磁场和电流间夹角有关，称为异向性磁阻效应，可用于精确测量磁场。各向异性磁阻 (AMR) 传感器是精确的非接触式设备，可对传感器感测到的磁场角度变化进行测量。



### KMXP系列位移传感器

TE的KMXP系列位移传感器采用AMR技术，可在高温等严苛环境中提供出色的精度和可靠准确的测量。严苛环境中的应用需要即使暴露于油渍、污垢和灰尘中也能表现良好的传感器。这些传感器提供两种不同的DFN封装，可用于多种方向选择，这些封装可以轻松集成到几乎任何自动装配过程中。

具体优势如下：

- ✔ **高分辨率和高精度：**采用非接触式测量技术的磁阻 (MR) 传感器，可在 1 - 5 mm 范围之间提供 10–50 μm 的精确度。
- ✔ **易于装配：**DFN 封装适用于任何 PCB 装配过程，可降低OEM制造成本。
- ✔ **采用卷带包装可轻松集成。**
- ✔ **设计自由：**垂直或扁平焊接版本，以及用于大的空气间隙应用的较小的传感器壁厚。
- ✔ **卓越性能：**可以承受高达 150° C 的温度，即使在脏污环境中都具有 EMC 防护性能，对污垢、油渍及灰尘不敏感。



## 典型工业应用

## 精准运动控制

运动控制不只是使机械运动保持匀速，同时也包括对运动部件的位置，力矩，速度，加速度等进行实时的控制管理，使各个部件之间的运动按照预期的运动轨迹和运动参数进行。运动控制是自动化的一个分支，它通常使用一些诸如液压泵，线性执行机或电机来控制机器。运动控制被广泛应用在包装、印刷、纺织和装配工业中。随着设备精密度的提高，运动控制对于精密性和实时性提出了更高要求，这就对控制器、传感器以及执行器带来了更高精度的挑战。

不同于传统的纯机械控制系统，如今运动控制系统几乎完全是通过计算机进行处理，传感和反馈为系统收集机械的重要运动数据，之后采用电动机来执行。此外，如果让机器互联互通，还可以实现工业物联网 (IIoT)体系下的更大规模的协同控制。

根据Markets and Markets的报告，全球运动控制市场规模预计将从2020年的149亿美元增长到2025年的165亿美元，复合年增长率为2.5%。

主要驱动因素是行业对安全生产和提高效率的需求。同时，据 Interact Analysis 分析指出，2019年，中国市场占全球运动控制收入的近四分之一。但在正常时期，中国占全球机械产量的42% 以上。这意味着就中国的运动控制市场而言，随着工厂寻求现代化并采用更多自动化和灵活的设备，仍有进一步渗透的机会。因此，Interact Analysis 预测，随着世界努力从 COVID-19 中恢复，中国市场将成为运动控制增长最快的领域。

运动控制系统包含处理器、执行器和传感器，其中传感器相当于人类的感官系统，负责运动控制系统中的传感器主要是测量相关控制方面的系统信息。理想情况下，传感器直接放置在需要控制的机械元件上。同时，传感器的测量精度是重要的考虑因素，更高的精度结合更快的系统采样率，才能为系统提供更强的精准可控性。

### 3 精准运动控制—AMR传感器

在精准运动控制中的线性位移测量领域，基于磁阻效应的位置传感器兼具精度高和成本低的特点。与光学编码器系统相比，非接触式测量在恶劣的应用环境中更具优势。基于磁栅尺的磁阻传感器系统可用于精度要求中等但机械公差较高的应用，可以完成一定量程的位移测量任务，包括微米级测量。将线性磁阻传感器感应元件嵌入到微型DFN封装中，支持水平或垂直安装，采用标准 SMT 贴片工艺，使其轻松运用于各种设计空间狭小的应用中。

在各种位置传感技术中，由于各向异性磁阻（AMR）的测量是非接触式的，

其器件可在宽温度范围的恶劣环境中无磨损的工作。其也可以做到防化学物质腐蚀和防尘，同时也不影响测量精度。在线性位置测量应用中，磁场可以由一个磁栅尺或磁极轮提供，两者都由相同磁极距的周期性交替的磁极组成。传感器与特定磁极距或独特磁场分布的磁栅尺配合使用。特殊的芯片设计将提供正弦输出信号，这个信号将源于传感器相对磁极的位置变化。即使在一定场强的干扰磁场下，传感器输出亦不会受到影响。传感器芯片通常将解析多于一个磁极数的磁场强度变化，以实现高精度测量。



## KMXP系列磁性线性传感器

TE的KMXP系列磁性线性传感器包含特殊形状的AMR传感器芯片，检测铁氧体材质磁栅尺的磁场分布，以实现高精度的非接触式线性位移测量。例如，显微镜 x-y 轴校准台、切木/石机等不同应用。这些应用对传感器/磁栅尺间的气隙及测量精度有不同的要求。KMXP5000、2000 和 1000 拥有不同的传感器芯片布局，集成2对极感应单元，通过采用较小的磁极距来平均可能的输出比例误差。对于大多数应用而言，2mm 磁极距 KMXP 是一个很好的折衷方案。

### 3 精准运动控制—线性位移传感器

线性位移是沿单个轴在一个方向上的移动。位置或线性位移传感器的输出信号表示物体距参考点的距离，位移测量还可指示运动方向。

线性可变差动变压器（LVDT）是一种线性位移传感器。LVDT工作原理和变压器类似，LVDT由线圈组件和铁芯组成。线圈组件通常以固定形式安装，而铁芯则固定在要测量其位置的物体上。线圈组件由缠绕在空心形式上的三个线圈组成。铁磁性材料的铁芯可以自由滑动通过模板的中心。内部线圈是初级线圈，由交流电源激励。

初级线圈产生的磁通量耦合到两个次级线圈，从而在每个线圈中感应出一个交流电压。

与其他类型的位移传感器相比，LVDT传感器的主要优点是坚固性高。因为在感测元件上没有物理接触，所以不会对感测元件造成磨损。同时，该设备依赖于磁通量的耦合，所以LVDT可以具有无限的分辨率。因此，可以通过合适的信号调节模块来检测最小的运动部分，并且传感器的分辨率仅由数据采集系统的分辨率确定。

## LVDT传感器



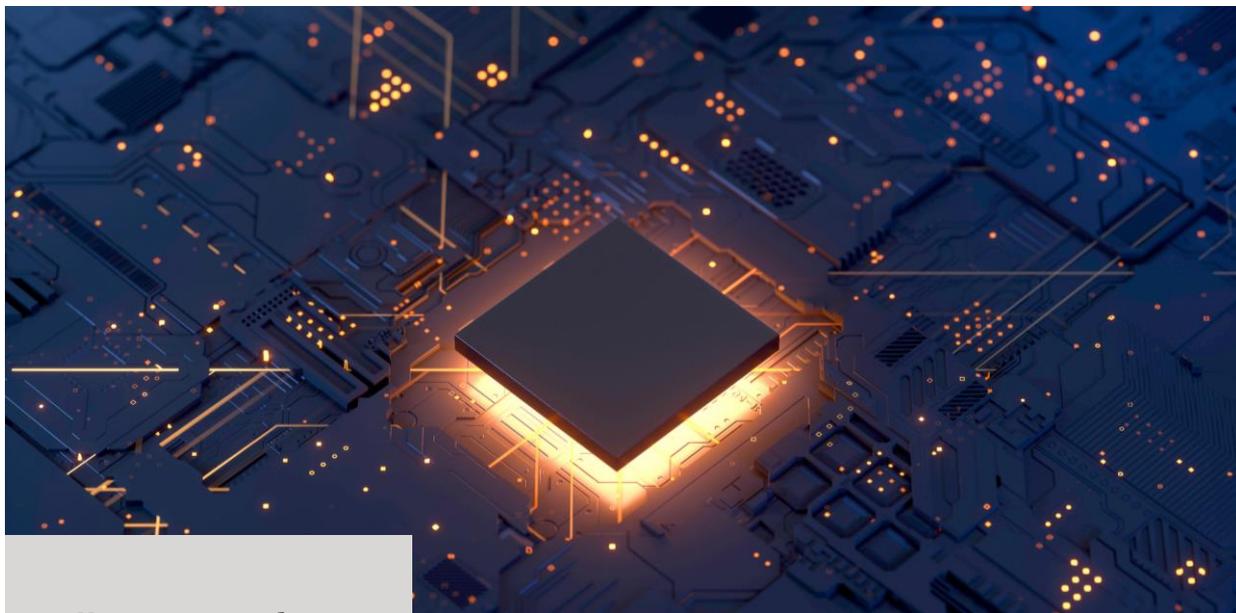
TE的LVDT传感器可提供出色的分辨率和可重复性，从而实现精确的测量。LVDT具有各种封装选项，可在严苛环境和关键应用中提供长使用寿命。这些传感器采用无摩擦、非接触电感式磁耦合，可实现长使用寿命和几乎无限的分辨率。



TE的交流LVDT传感器不含任何电子电路，使其成为需要尺寸限制或严苛运行环境应用的理想选择。同时，直流LVDT集成信号调理电路，不需要任何校准或特殊的信号调理。可以使用单极或双极直流电压为模块供电，并且模块提供电压、电流或数字输出的选项。该LVDT传感器具有弹簧回弹式柱塞和轴承组件（测量探头），可实现轻松安装。分辨率支持 $\pm 0.020''$ 至 $\pm 2.000''$ ，提供交流、直流和数字输出版本。

**坚固性高** | **出色分辨率** | **可重复性** | **磁耦合** | **极长寿命**

TE提供多种类型的LVDT，可应用在包括高密封、小型化、危险区域以及定制化等各种不同场景中。



## 典型工业应用

## 半导体设备

半导体设备业可以说是整个集成电路生产的基础，集成电路的发展离不开设备的演进，2014年中国《国家集成电路产业发展推进纲要》的发布，对于我国大力发展集成电路全产业链起到了积极的推动作用，包括晶圆厂的扩建，以及相配套的半导体设备等都有了不同程度的发展。国际半导体产业协会（SEMI）在其《全球半导体设备市场统计（WWSEMS）报告》中指出，2020年全球半导体设备销售额相比2019年的598亿美元激增19%，达到712亿美元，创历史新高。从国家/地区的排名来看，中国大陆首次成为全球最大的半导体设备市场，销售额同比大增39%，达187.2亿美元。

半导体已经进入5纳米级加工水平，在这个精度上进行半导体器件制造，需要集合50多个学科的知识与技术。半导体设备不仅要能实现非常精细的加工，更重要的是均匀性、稳定性、重复性、可靠性和洁净性。只有做到这些，才能满足晶圆制造的高

合格率要求。中投顾问在《2017-2021年中国半导体行业产业链深度调研及投资前景预测报告》中指出，要保证可以接受的合格率（例如90%），就要求每个加工制造环节都有极高的合格率，因为目前先进制程芯片需要1000多个工艺步骤，每一步的不合格都将影响最终的产品合格率。如果每一步的合格率都为99.9%，则1000个步骤后最终合格率只有36.77%。

半导体设备的高精度需求，也需要其内部各个组成部分都具有高性能的水平，这其中就包括了压力传感器以及温度传感器等，都需要具备高精度、高可靠性、高稳定性等特点。

## 1 半导体设备-压力传感器

高纯度气体供应对于先进的半导体制造流程至关重要。生产集成电路需要30多种不同的气体，用于蚀刻、沉积、氧化、掺杂和惰性化等应用。使用的气体范围比几乎任何其他行业都广，同时还要确保百万分之一以上的纯度，才能实现整个工艺流程的高准确度。

在生产过程中需要用到的主要气体包括通过空气分离现场产生或作为液态输送的氮气和氧气，作为低温液体输送的氦气和作为压缩气体输送的氢气等。除此之外，清洗用水也是一项极大的消耗物资，同样需要准确控制。

压力传感器进行流量测量是一种被广泛采用的方法。压力传感器被安装到管道中，用来测量管道中的差压，并利用流体的条件和检测件与管道的尺寸来计算流量。该方法计算条件苛刻，方法较复杂，对使用的压力传感器灵敏度和精度要求非常高。同时，流体可能是高温，低温或者腐蚀性气体，因此对传感器的可靠性要求也比较高，必须能够耐受各种恶劣的环境，普通的压力传感器很难胜任。此外，由于半导体应用需要高纯度产品，因此对于传感器本身来说，也需要进行表面光洁度处理，不能对介质造成二次污染。



### TE 超高纯度(UHP) 压力传感器

TE的超高纯度(UHP) 压力传感器支持定制化，采用316L或哈氏合金材料使其更具耐腐蚀性，同时表面经过电气抛光以确保超清洁环境。可应用于气柜压力检测、管道压力检测以及混合器出口压力检测等场合。



### TE 85系列压力传感器

TE 85系列压力传感器应用于质量流量控制器(MFC)中，MFC用于对于气体或者液体的质量流量进行精密测量和控制，在半导体制程中，包括扩散、氧化、分子束外延、CVD、等离子刻蚀、溅射、离子注入等工艺都离不开该装置。

85系列压力传感器具有高精度、小尺寸、0-100mV输出、支持表压和绝压测量、温度补偿等多种特性，可以提升MFC特种气体质量控制精度，从而提升工艺良率。85系列压力传感器同样采用了内表面抛光技术实现超高洁净度，并且支持多种金属材料选择，从而确保高可靠性，不会与介质发生反应造成二次污染。

## 2 半导体设备-温度传感器

半导体对温度非常敏感，因此在整个制备过程中都需要对温度进行准确测量，包括从晶圆制备到化学气相沉积等都需要稳定控制晶圆的温度，掌握晶圆温度的分布，更好的进行冷注入控制等。因此高精度、高可靠性、高量程的温度传感器对于半导体设备来说至关重要。

TE可提供包括RTD、NTC、热电堆、热电偶、数字温度传感器等多种类型的温度传感器，根据不同应用选择合适原理的传感器。



### TE 铂电阻元件RTD

目前在半导体工艺流程中，测量温度使用比较多的技术是铂电阻温度传感器。TE的铂电阻元件RTD采用稳定可靠的铂元素制造，RTD 利用了电阻随传感器温度升高而增大的原理，精密度更高，并且更耐腐蚀，具有更好的长期稳定性，抗干扰能力也强。RTD 的可用温度范围比 NTC 热敏电阻更广，但温度系数低得多，阻值变化率为 0.3-0.5%/度，因此需要更精密的测量电路。

TE的RTD可应用于半导体工艺流程中晶圆测量的温度探针，支持定制化探头，方便客户根据自身设备进行调整。可实现多个温度检查点同时测量，从而实现同步功能，确保测量的及时准确。

# 总结

工业是人们认识自然并改造自然的重要途径。从中国到全球，工业发展始终是人们不断追求美好生活的手段。通过TE的高性能传感解决方案，可以帮助人类更好地识别自然及机器，将物理信号转化为数据，再加以利用。

TE的传感器不光用于包括HVAC、预测性维护、仪器仪表、机器人/协作机器人、精准运动控制以及半导体设备这六大领域，任何需要智能化的工厂都离不开TE的传感器。TE在传感领域将继续成为“工程师的工程师”，担当起助力中国工业由“制造大国”向“制造强国”转变的催化剂。在“创新、集成、智能”三大价值主张的引领下，让工业行业实现智能化、数字化的转型升级，构建更安全、可持续、高效和互连的未来。

## 关于泰科电子传感器事业部 (TE Connectivity Sensors)

泰科电子(TE Connectivity, 简称“TE”)总部位于瑞士，是全球行业技术企业，致力于创造一个更安全、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传感器解决方案提供的测量技术包括压力、力、温度、位置、速度、加速度、湿度、流量、液位、血氧、压电薄膜、速率和惯性、扭矩、超声波、以及液体特性等，通常都用于其应用设备的关键部位。我们的工程师致力于智能、高效、高性能的传感器解决方案，帮助客户实现从概念到产品的转化。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](http://www.te.com.cn)或关注TE官方微信“TE连动”。

联系我们



本文信息，包括为说明产品目的而使用的图纸、插图和图表，据信为准确的信息。但是，TE Connectivity (TE) 不对本信息的准确性、完整性或最新性作出任何保证，且不对该信息的使用承担任何责任。TE的义务只在该产品的TE的标准销售条款和条件中规定，且在任何情况下，TE均不对产品销售、转售、使用或误用造成的偶然的、间接性的或结果性的损失承担赔偿责任。TE产品的使用者应自行评估确定每种产品是否适用于特定用途。TE有权对本文中提及的信息进行调整，本文中的尺寸、参数如有变更，恕不另行通知。若要了解最新尺寸和设计规格，请咨询TE。