

IO-Link工业智能工厂传感器的设计考虑因素

智能工厂需要采用智能传感器和执行器协助做出更明智的决策，实现灵活和妥善优化的制造流程。未来在于增强连接，践行工业4.0的承诺，打造更智能的工业工厂，IO-Link为迈向工业4.0铺平了道路。IO-Link®是一种标准化技术，可促使传统传感器转变为智能传感器，让实时可配置的工厂车间成为现实。

本文将探讨IO-Link概念及发展、IO-Link标准、IO-Link收发器应对的挑战及智能工业检测应用中IO-Link通信的使用。同时鉴于精密信号链对智能工厂连接起到关键作用，借此篇幅介绍ADI精密检测技术，帮助使用者知悉精密信号链，加速选择、评估和设计各种工业检测模式所涉及的数据转换和信号调理技术。

智能工厂连接

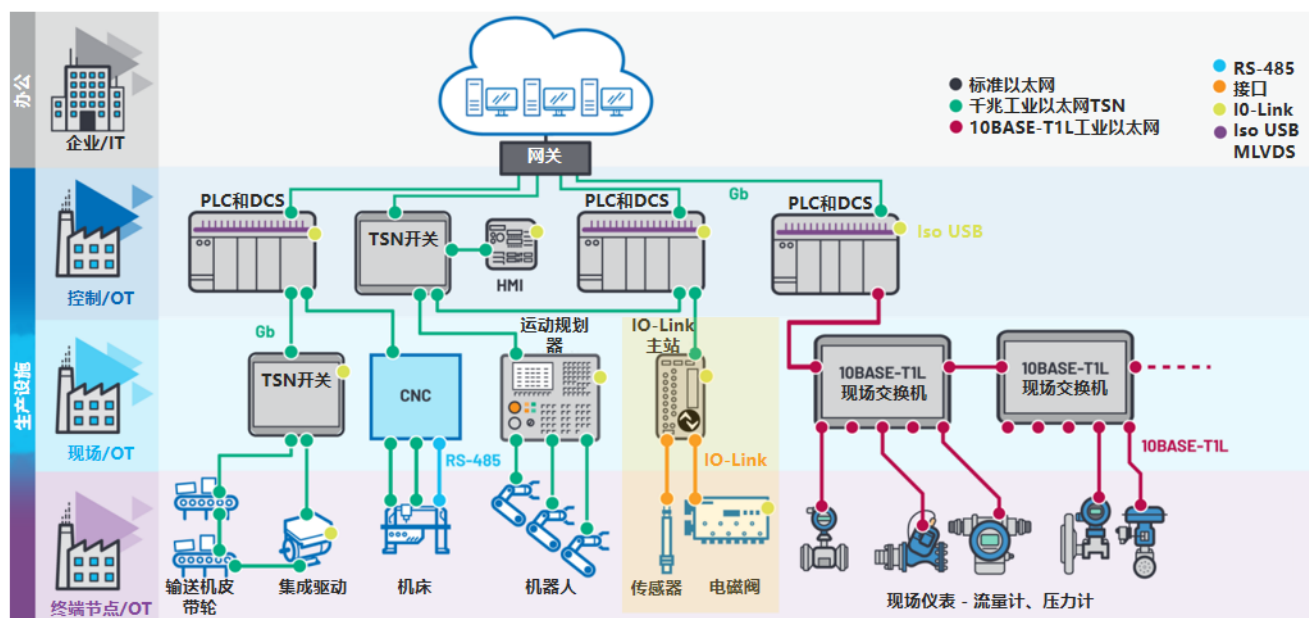
大型智能工厂系统中包含不计其数的系统和接口，IO-Link承担着边缘设备和控制网络之间的通信。本质上讲，为了应对工业市场和工厂不断增长的需求，工业系统的所有分支之间需要改善连接，让每个层级中的节点变得更智能并实现更多通信。工

业4.0的提出满足了这些需求，通过提高制造和工艺设施的数字化程度改变工厂和工业市场的运作方式。

智能制造的本质在于为工厂和自动化系统提供更有意义的数
据，而这些数据均由更智能的传感器和机器人产生，并通过机器学习
和人工智能等技术充分发挥所获取数据的价值，工业4.0时代的到来解决了客户面临的痛点问题。

图1示例了工厂4.0连接，从底层节点开始，包括传感器、执行器、仪表和机器人，上层包括了企业或IT层。可以看到，IO-Link在终端节点和控制层网络之间提供了一座桥梁。对整个系统而言，支持IO-Link的传感器是简单而重要的补充，它们通过IO-Link主站连接到这些控制或现场总线网络。

IO-Link不是取代PROFIBUS或以太网等网络通信接口，而是与它们并行工作。IO-Link是大型工作系统的一部分，经过专门设计可以无缝融入现有的工厂和系统。



未来工厂连接解决方案

图1. 工厂4.0连接

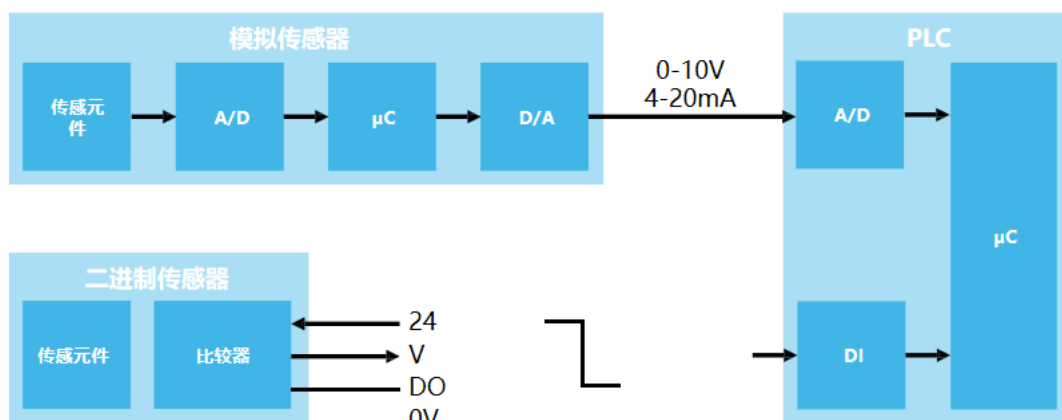


图2. 老式传感器——无法调整、配置和诊断

工业现场连接的发展历程

传统工厂连接

传统传感器将检测到的数据传输至控制器，数据通常以模拟格式进行单向传输，图2示例了“老式”传感器工作模式，它们将0-10V、4-20mA信号通过长电缆传输至PLC。这种方式需要采取额外步骤进行模数和数模转换，转换过程增加了额外成本、增大了器件尺寸，并提高了对外部噪声的敏感性。

随后引入了二进制传感器且通过IEC 60947-5-2实现了标准化。二进制传感器由电感式、电容式、超声式、光电式之类的检测元件以及半导体开关元件组成，输出信号为高电平或低电平。这种方式仍然局限于单向通信，不具有故障调节、诊断功能，无法直接获取到传感器的参数，需要工厂技术人员执行校准任务。

现代工厂连接_IO-Link智能通信

IO-Link是一种标准化IO技术，用于边缘节点和IO-Link主站之间进行通信。现代工厂仍然使用二进制传感器，不过带有IO-Link通信通道以便进行配置。IEC 60947-5-2，IO-Link标准（以前称为IEC 61131-9）支持传感器和控制器之间进行双向通信。

IO-Link的设计考虑到了工业和制造业的操作标准，整合了目前普遍使用的电缆和连接器。电缆采用非屏蔽式电缆，长度限制为20米，标准中包含的引脚排列适用于工厂车间普遍使用的M8和M12连接器。

IO-Link是IO-Link主站和IO-Link从站之间的24V点对点通信线路，链路由三条线组成：L+（正电源）、L-（主站和从站之间的共模线或地线）和CQ（半双工双向数据线）。典型IO-Link从站通过电缆由IO-Link主站供电，但如果从站功耗高于主站的支持能力

则需要外部电源。虽然每个从站只能连接到一个IO-Link主站，但IO-Link主站通常可以同时服务多个从站。常见的配置是四通道和八通道主站。图3从系统层面进行了示例，展示了由传感器、执行器至控制器的连接。

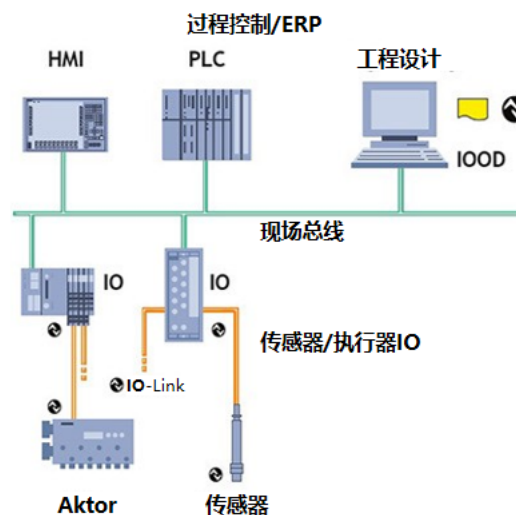


图3. 系统架构示例

IO-Link扩展器可用于支持更大的网络连接，从站和IO-Link主站之间的直接通信可实现近实时的数据收集和诊断，还能支持动态配置从站，在几分钟内就可以重新配置整个工厂车间。技术人员不再需要手动维修从站，也无需花费数小时或数天时间来更改工厂车间配置。IO-Link是传感器和执行器IO技术的开放标准。不同于PROFIBUS或以太网类型的现场总线，IO-Link不会取代此类网络接口。事实上，IO-Link独立于现场总线，IO-Link网络可以设计为连接到任何类型的现场总线。因此，IO-Link成为了向工业系统添加智能器件和传感器的通用解决方案。

IO-Link旨在无缝融入已有数十年历史的工厂车间和工业系统，实现工厂标准化且安装简便，一般通过普遍使用的电缆和连接器即完成安装。数据和诊断信息会在IO-Link主站和所连接的从站之间定期、稳定地交换，以便网络可以定期收集数据并保持正常运行状态。IO-Link软件旨在简化远程配置，使用IO器件描述或IODD文件支持即插即用操作和定义器件操作的各种参数。得益于这些因素的共同作用，智能工厂可以快速地远程配置和重新配置，减少停机时间，无需人工干预，现场技术人员无需花费时间并避免业务中断。

IO-Link面临的设计挑战

数字化发展方兴未艾，智能工厂也正蓬勃发展。然而，随着智能工厂的智能程度不断提高，传感器等器件的密度也在持续增加，以便能提供更丰富的数据。不断增加的器件密度促使传感器和执行器采用更小的封装，IO-Link设计时面临几个挑战：

散热或功耗：IO-Link传感器通常安装在微小外壳中且随着尺寸的不断缩小，耗散功率时升温迅速，“散热”成为是否可靠运行的重要考虑因素。IO-Link收发器具有通信所需的推挽式或高端驱动器，并且也可以驱动大的容性或感性负载，这会在切换过程中消耗大量功率，因此收发器必须使用低导通电阻的驱动器。

尺寸：传感器必须保持小巧尺寸，才能适应边缘环境的狭小空间。

安规测试：IO-Link标准对EMC和高压瞬变保护也提出了要求。ESD、浪涌和耦合噪声（通常称为EFT或突波事件）是恶劣工业系统环境中的常见问题，可能导致降低工厂环境中的数据质量和运行性能，甚至引发破坏性故障。为保护器件免受此类事件的影响，可能还需额外配备外部元件，如常用的大体积TVS或压敏电阻。

IO-Link设计挑战解决方案

IO-Link传感器和从站通常由IO-Link主站供电，为24V电源，大多数IO-Link收发器至少配备一个LD0来将电压从24V降至5V或3V，但这种大幅降压会产生大量功耗，因此一些设计使用外部DC-DC来降低24V电压，额外增加的元件需要更大的空间。

典型IO-Link从站收发器包括两条24V IO线、CQ和DODI，在切换或驱动外部负载期间可能会消耗大量功率，因此必须选择具有低阻抗驱动器的器件以减少功耗。当然，使用一些功能如可编程电流以及热警告和诊断可以帮助板载微控制器调整IO-Link从站使用的功率，从而调节整个从站温度。为了进一步缩小外壳尺寸，IO-Link收发器必须能够支持小型封装，并且应尽可能少地采用外部元件。

需要注意的是，IO-Link标准本身要求IO-Link设备能够承受高达1kV EFT、4kV的接触放电和8kV的空气放电ESD，符合性能判据A或B，这些测试在相应的IEC61000-4标准中有明确规定但对浪涌保护没有任何具体要求。设备制造商在设计时通常会考虑浪涌，同时设计和选择收发器时也会考虑这一点。通常，对IO-Link设备而言浪涌要求相对宽松，发生器和IO引脚之间的串联阻抗从42欧姆增加到500欧姆。较新发布的收发器MAX22513，已集成高达1kV的浪涌保护功能，这种集成保护大大减少了对任何额外外部保护元件的需求，甚至可以完全不需要。

IO-Link收发器简述

ADI IO-Link产品组合丰富，充分考虑了设计挑战，不带DCDC的驱动器具有极低的Ron，有助于降低功耗，而集成DC-DC的收发器仅在负载电阻处产生热量，具有优秀的热效应。

MAX22513：双通道驱动器，集成了DC-DC，这种集成电源方案有助于大幅降低运行期间的功耗。集成的浪涌保护功能可显著降低额外配备外部保护的需求，甚至可以完全避免这种需求。采用WLP小型封装。

MAX14827A：较为受欢迎的收发器，虽然没有集成浪涌保护功能，但引脚绝对最大额定值较高，因此需要的外部保护二极管也较小。设计有两个超低功耗驱动器，具有主动极性反接保护功能。CQ、DI、DO和V24引脚的对地额定电压高达70V。**MAX14827A**集成了高压功能，受益于高压耐受能力，瞬态保护得到显著简化，支持使用微型TVS并提供许多定制保护方案供设计人员自由选择，包含灵活的控制接口。支持引脚模式控制，支持具有丰富诊断功能的SPI控制。采用25引脚WLP封装或24引脚TQFM封装，额定温度范围为-40°C至+125°C。

产品型号	接口	说明
IO-Link主站收发器		
MAX14819/MAX14819A	IO-Link	低功耗双通道IO-Link主站收发器 + 电源控制器 + UART/处理器 + DI
IO-Link从站收发器		
MAX14828	IO-Link	微型低功耗单通道IO-Link从站收发器
MAX14827A	IO-Link	微型低功耗双通道IO-Link从站收发器
MAX14829	IO-Link	引脚驱动、低功耗双通道IO-Link从站收发器
MAX22513	IO-Link	带DC-DC的浪涌保护双通道IO-Link从站收发器
MAX22514	IO-Link	带DC-DC和集成热ADC的浪涌保护双通道IO-Link从站收发器
MAX22515	IO-Link	引脚或I ² C模式，浪涌保护双通道IO-Link从站收发器
MAX22516	IO-Link	带收发器和集成DC-DC的IO-Link数数据连路控制器（敬请期待!）
二进制传感器驱动器		
MAX14838/MAX14839	二进制	24V/100mA引脚可配置工业传感器输出驱动器+保护
MAX14832	二进制	24V/100mA一次性可编程（OTP）工业传感器输出驱动器+保护
MAX14836	二进制	24V双路输出传感器收发器
MAX22520	二进制	带模拟信号检测电路的24V一次性可编程（OTP）工业传感器

表1. IO-Link收发器部分产品清单

表1列出了ADI IO-Link传感器产品清单，包括主站收发器、多款从站收发器和驱动器，虽不是全部产品但方便选择者了解概况。清单中的从站收发器，有些可以通过引脚配置，有些可以通过串行接口编程多个配置寄存器；有些是单通道，有些具有多个IO通道；有些集成DC-DC和浪涌保护功能。

ADI提供的主/从站收发器均有丰富的参考设计，且配备全面的功能描述，可以相互或与市场上任何其它IO-Link收发器进行测试。途径ADI网站可以下载IO-Link手册、实用IO-Link文章、应用笔记、参考设计。凭借丰富的参考设计组合，ADI公司了打造了强大的IO-Link生态。

精密检测

本文谈及的精密检测解决方案包括温度检测、状态检测及位置检测。图4示出了精密检测信号链，包括传感器/变换器、数据采集测量、处理器及IO-Link收发器几大部分。

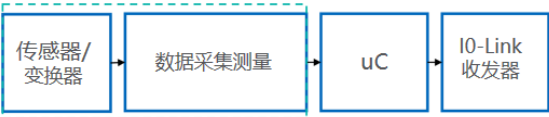


图4. 支持IO-Link的传感器采集信号链

温度检测解决方案

温度传感器有许多不同类型，包括RTD传感器、热电偶式、硅温度传感器式，一般而言，测量方式不同所用的器件也有差异。

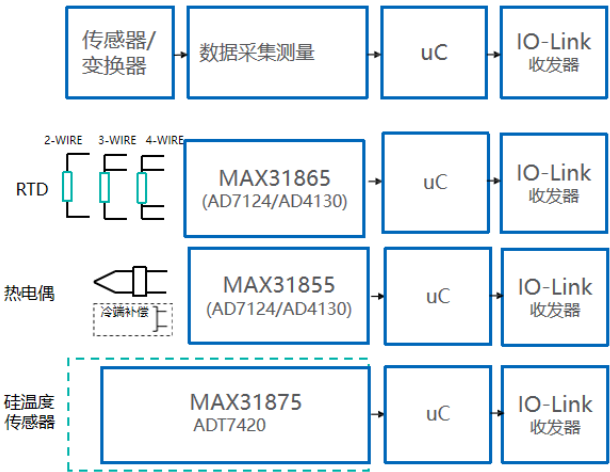


图5. 支持IO-LINK的不同温度测量方案示例

MAX31865：RTD/数字转换器，具有15位ADC，精度0.5度。RTD传感器有2线、3线和4线三种方式，PT100或PT1000传感器可直接与2、3、4线RTD连接。

MAX31855：冷端补偿热电偶至数字转换器，提供14位0.25°C分辨率，具有SPI接口，用于热电偶传感器测量。热电偶类型不同，所使用的转换器不同。

MAX31875：低功耗I²C温度传感器，采用极小的晶圆级CSP封装，可以在-50°C至150°C的宽温度范围内进行测量。0°C至70°C范围的精度为±1°C。当处于工作模式时，仅消耗150uA电流，符合低功耗设计理念。

ADT7420：16位温度传感器， $\pm 0.25^{\circ}\text{C}$ 的精密温度传感器进行本地温度检测。测量范围为 -40°C 至 150°C 。

AD4130：**AD4130-8**，超低功耗的集成式24位 Σ - Δ ADC，具有高集成度和简单易用特点。集成了FIFO和可编程增益放大器，片上集成的信号链中包含交叉点复用器，可将其配置为16个单端通道或8个真差分通道。可以选择SINC3和SINC4数字滤波器。还集成了高精度基准电压源，最大漂移规格为15 ppm/ $^{\circ}\text{C}$ 。其它模块包括匹配激励电流源，是更安全的传感器激励，以及内部本地温度传感器。**AD4130**集成了更多数字功能，如FIFO和时序控制器，有助于减轻数字主机或微控制器的负担并提高其自主能力。**AD4130**是低功耗的可重构平台器件，可运行的测量范围为DC到2.4 kSv等。晶圆级CSP封装，尺寸较小。工作模式下仅消耗32uA电流。

AD7124：**AD7124-8**，集成PGA基准电压源的低功耗、低噪声24位 Σ - Δ ADC，包含交叉点多路复用器。就集成信号链模块而言，与4130非常相似但主要区别是具有更高的输出数据速率，高达19.2 kSPS。**AD7124**提供三种不同的功率模式，用户可以在功耗和输出数据速率之间进行权衡。采用 5×5 LSCSP封装。

AD4130和**AD7124**均内置多种诊断特性，可以对SPI接口、电源、信号链本身以及集成的数字特性运行健康状况进行检查。若**AD7124**需要隔离，使用ADUM1441四通道数字隔离器将隔离**AD7124**的SPI接口。

AD7124和**AD4130**的高集成度使它们可以连接到各种类型的温度传感器，包括热电偶、热敏电阻、RTD。对于压力或应变等电桥测量，**AD7124**和**AD4130**中的PGA集成模块可以放大电桥输出，配置为比率式测量。对于降低功耗特性的应用，用户可以在两次转换的间隔之内断开电桥电路，以尽量减少整个电路的电流消耗。REF检测特性是监控外部基准电压源的运行状况，当基准电压低于特定阈值时创建一个标记，还可以将外部基准电压源应用于REF输入。

同样，ADI提供大量温度检测的资料，包括应用文章、电路笔记和参考设计，并且可以在电路笔记部分看到RTD、热电偶和热敏电阻的解决方案。

状态监控-振动检测

ADI用于状态监控的MEMS传感器包括三轴振动解决方案（ADXL3xx）和单轴振动解决方案（ADXL1xx），有模拟输出，也有数字输出。状态监控应用的关键规格涵盖噪声密度、带宽、检测范围和功耗。针对检测倾斜类的应用，稳定性和漂移则是关键指标。对于小于1KHz左右带宽的测量，一般采用**ADXL355**和**ADXL354**等器件。

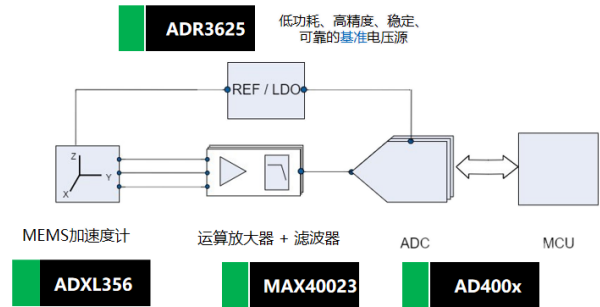


图6. 低功耗、低噪声状态监控信号链示例

低功耗、低噪声状态监控信号链由MEMS加速度计、运算放大器、ADC和MCU几部分组成。这里详细介绍几款适用于此应用的典型器件：

ADXL356：三轴MEMS振动传感器，有模拟和数字输出两种形式，提供三种不同的测量范围，可以在高达 $\pm 40\text{g}$ 的测量范围选择，具有 $80\mu\text{g}/\sqrt{\text{Hz}}$ 的低噪声密度，测量模式下功耗低至200uA。集成了ADC和滤波功能，通过SPI接口与系统中的微控制器或主机连接，集成了温度传感器可适用于CBM应用。**ADXL356**数字加速度计的带宽比模拟器件要低，其带宽最高为1 kHz，而模拟输出的带宽范围为DC到2.4 kHz。模拟电压输出的话则需要为其匹配低功耗信号链，以测量并转换传感器的输出。器件采用 4×4 LGA封装。

MAX40023：低功耗、低噪声、低输入偏置电流放大器，与16位ADC AD400X系列组合而成。ADC采用差分输入或单端输入模式。

AD4004：单端输入ADC，可以配合单端输出的振动MEMS传感器使用，具有1MSPS或500kSPS不同的吞吐速率或采样速率。功耗会随采样速率而变，当不需要500 kSPS最高采样速率时，可以降低采样速率，功耗也随之降低。若**AD4004**或**AD4008**以10 kSPS的速率运行，器件功耗仅为17uW。运算放大器和ADC均采用小型LFCSP封装，符合低功耗、小尺寸的设计理念。

旋转/角度位置检测

位置检测特别是旋转或角度位置检测，原理类似编码器。不同类型的编码器旋转位置检测采用不同的检测原理，比如磁检测或光学检测解决方案都会产生正弦或余弦信号，需要同步采样以维持输入之间的相对相位信息保持不变。应用不同，测量分辨率和测量带宽方面的需求也不尽相同。图7示例了旋转位置检测，角度传感器**ADA4570**为电机驱动器和伺服器的应用提供了更高精度的绝对线性或角度位置测量位置检测。

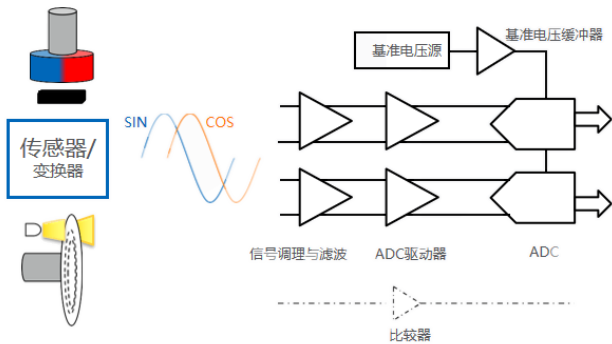


图7. 旋转位置检测示例

ADA4570：各向异性AMR磁阻传感器，集成了模数转换器ADC驱动器，具有差分输出的信号调理放大器，产生正弦和余弦模拟输出信号，可以指示周围磁场的角位置。具有180°高精度角度传感器，典型误差为 $\pm 0.1^\circ$ 。传感器不包含ADC，因此，**AD738X**或**AD4681**可以与该角度传感器配合使用进行同步采样。**ADA4570**还有集成温度检测通道，如有需要，可以提供本地温度数据。角度传感器还有单端输出版本**ADA4571**。

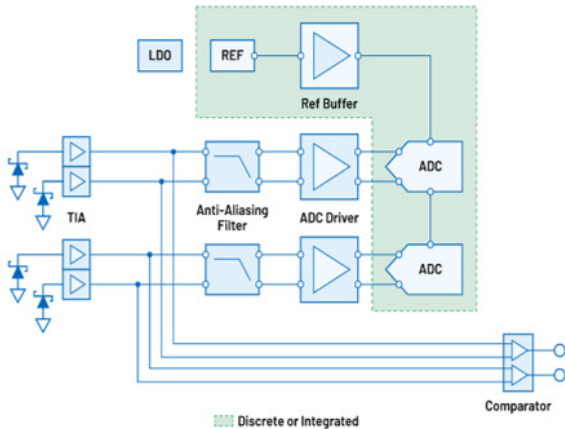


图8. 光学检测测量信号链示例

	TIA	ADC驱动器	ADC	基准电压缓冲器	基准电压源	比较器
噪声优化型	AD8656	ADA4945-1	AD7380	ADA4807-1	ADR4533	LTC6702
密度优化型	AD8656	ADA4945-1	AD7380			LTC6702
成本优化型	AD8656	ADA4945-1	AD4681			LTC6702

表2. 不同优化类型的产品示例

图8是使用光学检测的测量信号链示例，由跨阻放大器、ADC驱动器、同步采样ADC组成。针对优化类型，表2示出了对应的最佳产品选择，对噪声性能、密度和成本几方面进行了优化。可以看出，测量信号链之间的主要区别在于所使用的ADC采样速率不同。

AD738X：双通道同步采样16位ADC，以4MSPS的速率运行，适合传感器正弦和余弦输出的同步采样。ADC接受多样的输入类型，单端、伪差分还是真差分，也可以不同的分辨率选项，16位至12位。

AD4681：与**AD738X**及其相似，双通道同步采样。全差分输入的16位版本，运行速度为500 kSPS。

AD7380和**AD4681**均采用3×3 LFCSP封装，尺寸小巧，集成了基准电压源， ± 10 ppm/°C的漂移。这些SAR ADC若不是以最高吞吐速率使用，其功耗会随着采样速率的降低而降低。另外一个优势在于均配备过采样模块，可以借其权衡输出数据速率换取更出色的噪声性能。

MCU：每种测量解决方案都将连接到数字主机或微控制器，图9示例了低功耗微控制器产品系列。**MAX32660**是一款出现频率较高的低功耗微控制器MCU系列，为Cortex M4处理器，满足使用者对闪存、存储器、时钟等的不同要求。

针对精密测量，ADI精密团队提供了完整的信号链解决方案，并提供相关的电源方案配合系统设计。Precision Studio是ADI提供的一套在线工具，用于将跨阻放大器之类的器件组合在一起或在信号链中执行滤波。不断完善的Studio工具还添加了出色的新噪声分析工具，可以将信号链中的不同模块放在一起计算模块组合的噪声性能。

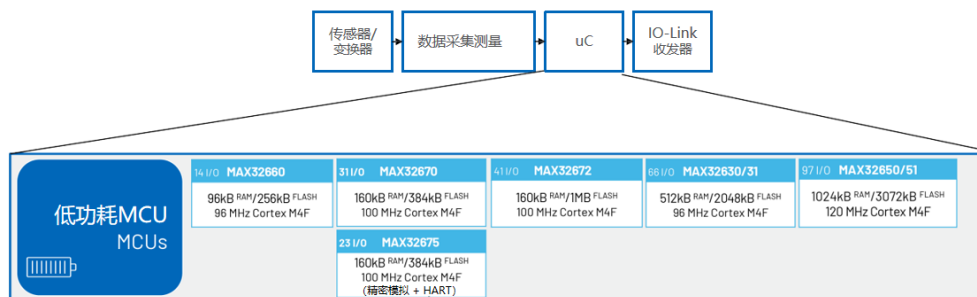


图9. 用于精密测试的微控制器处理器产品示例

结论

IO-Link是推动制造业改革的核心，IO-Link作为不可缺少的部分将传统传感器转变为智能传感器，为边缘设备带来智能。ADI洞悉工业4.0，了解智能工厂传感器和执行器的设计挑战，明白IO-Link技术在智能通信方面的痛点提供精准的解决方案。

ADI提供全面丰富的完整评估工具，便于设计者快速完成平台和指标的优化，推动工厂车间的灵活性和可配置性，实现传感器和执行器的自主调试、诊断和监控，推动智能工厂系统迅速发展。

ADI 智库

一站式电子技术宝库

ADI智库是ADI公司面向中国工程师打造的一站式资源分享平台，除了汇聚ADI官网的海量技术资料、视频外，还有大量首发的、



关注ADI智库

免费的培训课程、视频直播等。九大领域、十项技术，加入ADI智库，您可以尽情的浏览收藏、下载相关资源。此外，您还可一键报名线上线下会议活动，更有参会提醒等贴心服务。

在线支持社区

ADI EngineerZone™

中文技术论坛

访问ADI在线支持社区，与ADI技术专家互动。提出您的棘手设计问题、浏览常见问题解答，或参与讨论。

请访问 ez.analog.com/cn

