

# ADI为智能工厂的增强型连接提供解决方案

智能工厂、智能楼宇和工业物联网发展应运而生，连接需求的增长已成不可抵挡的趋势，增强连接促进了制造和加工设施以更快的速度朝着数字化转型。制造商运营压力的增强——保持整体生产力和成本效益，面对更短的产品生命周期，更多产品形态的多种挑战及压力，迫使工厂改进自动化系统，增加灵活性，提高生产力。

设备间建立连接，面对难以计数的接口和解决方案要实现无缝连接并非容易之事，方案提供商所做的就是最大程度减弱通向无缝连接的瓶颈，建立可扩展且易于升级的系统和接口及通信基础设施，整合相互不兼容的协议，建立工业网络向协调一致转变，借助多种新技术实现这种智能连接。

图1展示的未来工厂连接模型，涵盖运营层的终端节点到控制设备、自动化器件、驱动器、处理仪器和IT层。工业现场总线应用中，ADI提供了丰富的全方位解决方案，由传统现场总线RS-485解决方案至背板连接适合的多点LVDS，再由工厂边缘IO-link至具备稳健性和确定性的工业以太网，最后至高速隔离USB端口，本文档对这些方案进行全面的解析。

## 一、RS-485：智能工厂增强技术

RS-485发展已有40余年但仍广泛应用于工业处理电机控制和楼宇自动化中，RS-485物理层被广泛应用于任何同等的通信协议，比如PROFIBUS，Hiperface DSL，Modbus RTU或BACNet等。

RS-485的优势表现于灵活的拓扑结构，较长的传输距离，1km@100kbps数据速率，最多支持256个节点的点对点或点对多点网络。

工厂智能化的提升要求传输更多更快更远的数据，接口器件具有更强的保护。受益于ADI新推出的收发器产品推动，RS-485于今天仍然适用，满足当前和未来工厂的需求。新一代收发器优势大体如下：

- 1.真正突破了速度和距离的界限，提供高达100Mbps的数据速率，实现更快更远的通信，传统收发器的速度大多无法突破30Mbps
- 2.具有较高稳健性，集成了系统级ESD、EFT和浪涌保护，总线引脚具有故障保护，可承受高达80V的电压而不会发生闩锁损坏
- 3.内置了强劲的功能组合和智能特性（例如自动定向和极性反转），方便用户构建更灵活、更智能的系统
- 4.利用增强型数字隔离实现出色的电气隔离，为安全可靠的通信提供保障

ADM286xE/ADM256xE系列，是ADI新推出的一款信号和电源隔离式RS-485收发器，器件包含先进的RS-485收发器、4通道数字隔离器和低EMI隔离式DC/DC转换器，适用于任何现场总线通信网络。

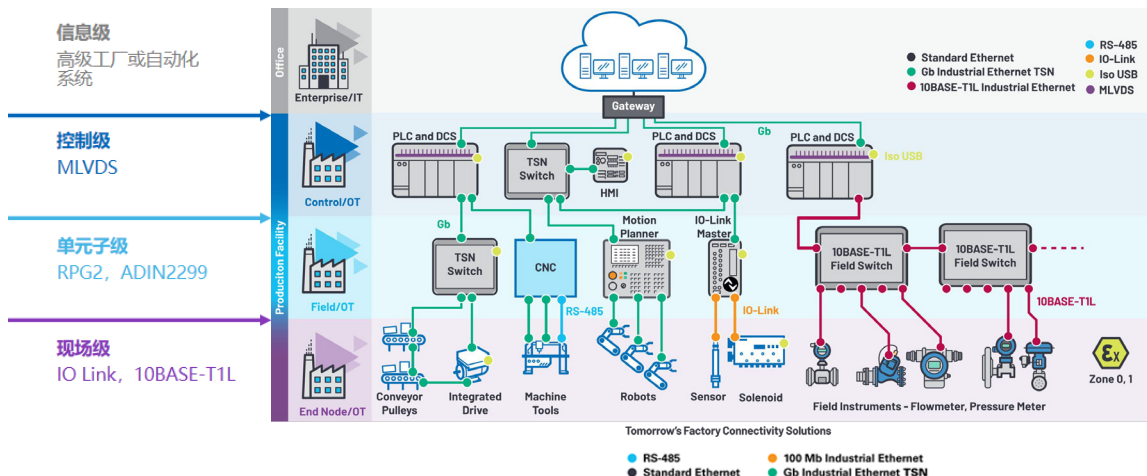


图1. 工厂4.0连接

RS-485 (和RS-422)  
是灵活的  
物理层



OSI模型

应用



工业处理  
PROFIBUS、Interbus

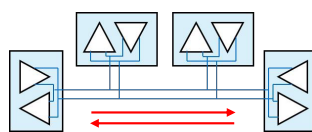


电机控制  
Hiperface DSL

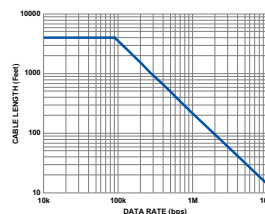


楼宇自动化  
Modbus RTU、BACNet

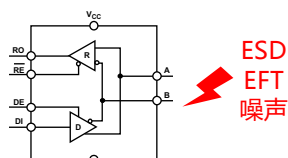
多点



距离(≥1km)



稳健



ESD  
EFT  
噪声

简单

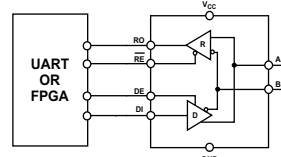


图2. 工业连接中的RS-485

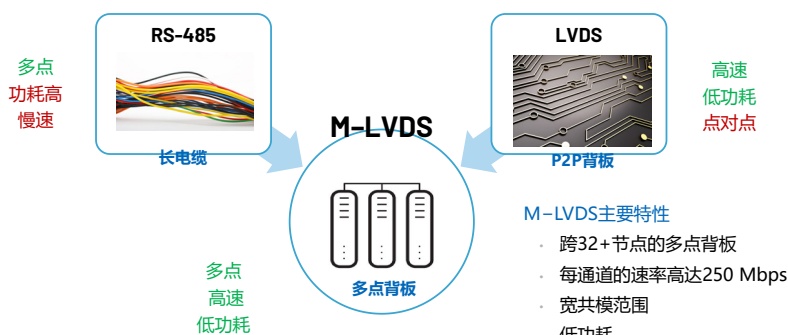


图3. M-LVDS: 优化背板通信

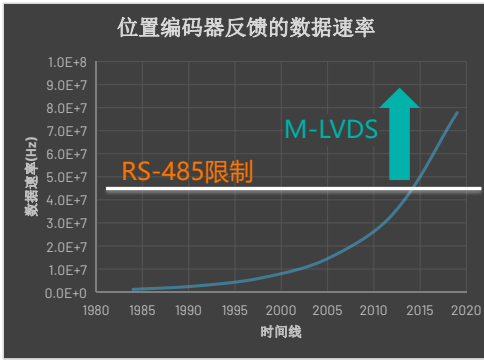
## 二、多点LVDS: 增强背板连接

伺服电机应用中, 控制器和伺服电机通过网络连接, 位置编码器被集成于伺服电机中且将电机的位置信息反馈给控制器, 通过RS-485接口完成(假定数据速率为20Mbps, 电缆长度则可能为100m)。位置编码器接口的数据速率目前呈增加趋势, 同时带宽需求也出现爆炸式增长, 而这一切都与工业4.0趋势相吻合——更多数据、更快的速度和更高的精度。但目前RS-485的速度裕量已用尽, 一些先进的解决方案也无法使得RS-485网络满足速度要求。

多点LVDS结合了RS-485和LVDS的精华, 专为增强背板连接而设计, 如图3所示。纵观工厂连接的发展, RS-485作为多点长电缆的稳健通信方式之一, 在功耗和速度方面已落后于时代需求。LVDS方案主要针对PCB级别的点对点连接进行优化, 解决了RS-485速度低功耗大的问题, 但是LVDS在诸如设计背板这种大型多点网络时仍然存在不足。

M-LVDS是一种较新的技术方案, 针对背板通信这种多点通信进行了优化, 具备了LVDS高速和低功耗特性, 且能够在多点网络上实现至少32个节点之间的通信。根据所使用的收发器, M-LVDS单通道的通信速度可达250Mbps, 与标准CMOS输出相比, 具有较宽的共模范围。

M-LVDS方案为多点选项提供支持以增加带宽。额外的带宽除了拥有更准确的编码器、更多的位数、更出色的位置感知外，还可以让终端节点包含更多智能特性，添加诸如视觉传感器或温度传感器等传感器件以获取有关终端系统的更多数据，并通过同一网络将数据全部反馈给控制器。M-LVDS的优势是最大数据传输速率和低功耗，如图4所示。相较于RS-485，M-LVDS最小输出电压有所降低，但距离和节点数量也受到了一些限制。



	RS-485 / RS-422	M-LVDS
拓扑结构	差分，多点	差分，多点
最大数据速率	50 Mbps	250 Mbps
功耗	高，165mW - 425mW	低，~60mW
最小输出电压	1.5 V	0.48V
器件数量，距离	多达256个，超过1km	多达32个，超过30m

图4. 位置编码器反馈的数据速率

图5数据采集机架中的背板包含了终端节点、传感器、数据采集机架。可以看出模拟I/O设备与各个终端设备进行通信，机架聚合来自所有终端设备的所有数据并通过以太网将其反馈到云端。设备的通信正是通过某种类型的背板实现，而M-LVDS连接正是背板的优异选择，其速度优势使其适合于可编程逻辑控制器、状态监控或任何使用背板的分布式计算系统。

数据采集机架中M-LVDS背板特点：

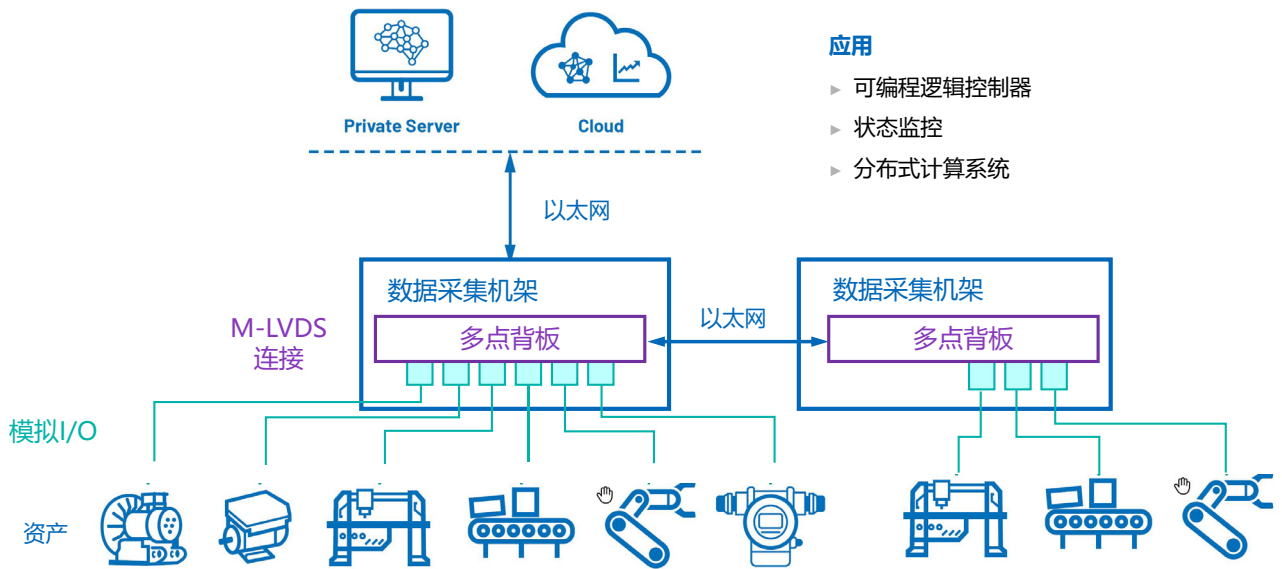
1.高性能背板

- ▶ 高带宽
- ▶ 跨32个节点的多点背板
- ▶ 聚合通道以获得更多带宽，通过组合四个通道，可以获得高达1GB的带宽
- ▶ 低功耗，保持一定热量而在机箱内稳定工作

2.稳健的系统

- ▶ 支持带电插入/移除的热插拔，包括CPU、与背板通信的M-LVDS和与边缘通信的IO
- ▶ 系统级ESD帮助使用者构建稳健的终端系统，便于操作员手动操作
- ▶ 接收器会识别短路等故障，以确定的、规定的方式工作，方便用户在IO级别做出正确的决定来处理边缘设备

ADI提供全面的全双工和半双工M-LVDS收发器系列，紧凑的封装针对低功耗进行了优化。现有M-LVDS产品出色的时序性能，极低的延迟、偏斜和抖动功能有助于客户在背板上获得出色信号完整性。另外，扩展的温度范围在机箱变得非常热时也能正常工作。



- 应用
- ▶ 可编程逻辑控制器
  - ▶ 状态监控
  - ▶ 分布式计算系统

图5. 数据采集机架中的M-LVDS背板

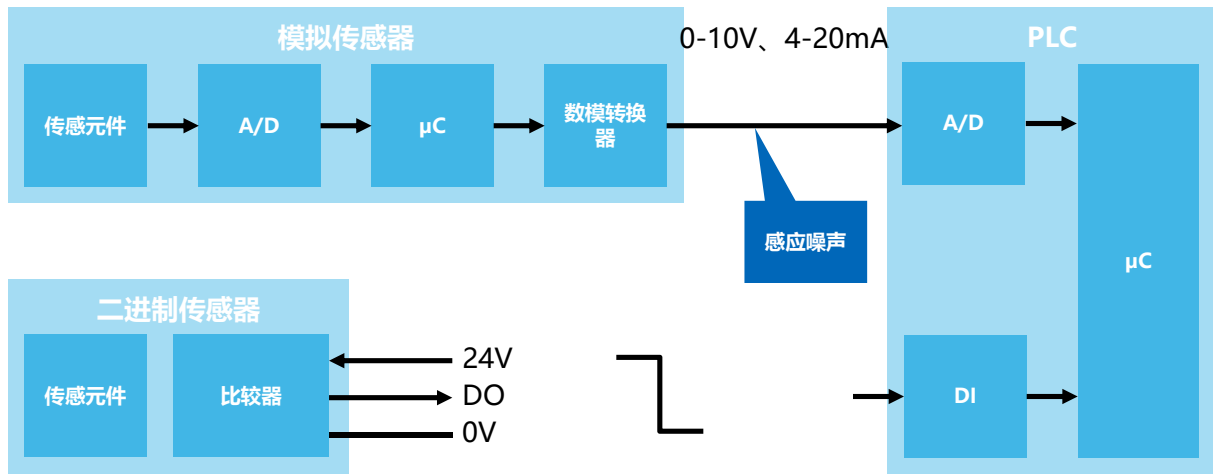


图6. 传统传感器——无法调整、配置和诊断

### 三、IO-Link——边缘智能解决方案

传统工业传感器的数据采用单向模拟方式进行传输，如图6示例中数模转换器将输出的0-10V、4-20mA信号通过长电缆传输至PLC，或者二进制传感器将输出直接连接到PLC上的数字输入，这两种传输均是单向通信并且控制器无法直接获取到传感器的参数、诊断以及更多的信息。

IO-Link是应用于工厂或自动化工程中相对较新的工业传感器标准，是点对点的通讯协议，双向通信，支持配置和增加诊断数据，目前呈现迅速增长态势。

工厂现场设备的传感器或执行部件一般放置于远端，通过IO-Link将这些现场设备通过3芯未屏蔽线连接到IO-Link主设备并与控制器通讯，如图7所示。一般控制器通常为PLC或者可编程逻辑控制器，数字信号和模拟信号通过IO-Link主设备进行处理。值得一提的是，IO-Link中的IODD缓冲文件支持用户自行安装，可以大幅简化配置和安装。

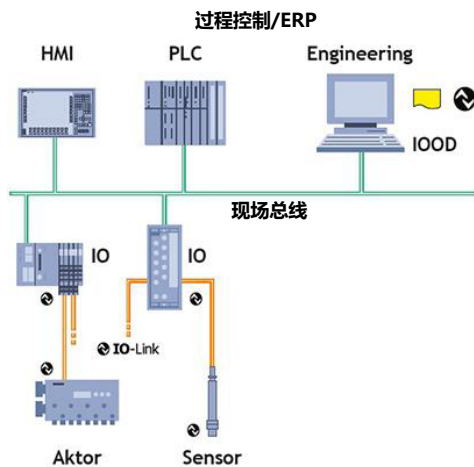


图7. IO-Link 系统构架示例

在工厂网络层次结构中，边缘位置通常部署传感器和驱动器。很多时候，边缘器件与IO-Link网关通信，而网关将IO-Link协议转换为所选的现场总线。

MAX14819是一款双通道IO-Link主机收发器，具有极高的效率，输出驱动器的RON仅为1Ω，双通道总电流为1.9mA。MAX14819集成了电源控制器和帧处理器，支持反向电流阻断、过压保护和过流保护，额外带有两个1型或3型数字输入。此产品引脚完全符合IC和新的IO-Link标准。

### 四、工业以太网——提供稳健、高带宽、时间敏感数据

工业以太网技术不仅支持终端节点的连接，还支持到云端的连接，实现无缝连接。工业以太网受欢迎大致有以下几个原因：

1. 可互操作和可扩展性：从云端到边缘的一切都可以使用相同的技术，以太网帧独立于在其上运行的产品并实现无缝连接。此技术符合IEEE标准，提供跨所有供应商的互操作能力
2. 支持从10Mbps到Gbps的速度：与仅支持从kbps到Mbps以下速度的其他通信协议相比，这是一个巨大的优势。对于较新的10BASE-T1L标准，通信距离可达1km
3. 确定性和实时性：低延迟的物理层设备保障确定性，时间敏感网络TSN让工业以太网成为保障延迟和确定性的实时通信协议
4. 基于标准的解决方案：ADI工业以太网具备低PHY延迟、低功耗的特点，可以连接不同网络拓扑结构。Chronos是ADI提供的一整套以太网解决方案，包括物理层设备、嵌入式交换芯片和具有完整协议支持的网络接口平台。这套完整解决方案提供了确定性时序、稳健性、可扩展性、灵活性且可简化系统设计。



PHY主要特性	10/100/1000 BASE-TX	10BASE-T1L
布线	2或4对以太网	单对以太网
距离	100m	最长1km
速度	10Mb、100Mb、Gb	10Mb
连接器	RJ45	双引脚连接器
本质安全兼容性	否	是
电源	PoE	PoDL或工程电源

图8. 10BASE-T1L

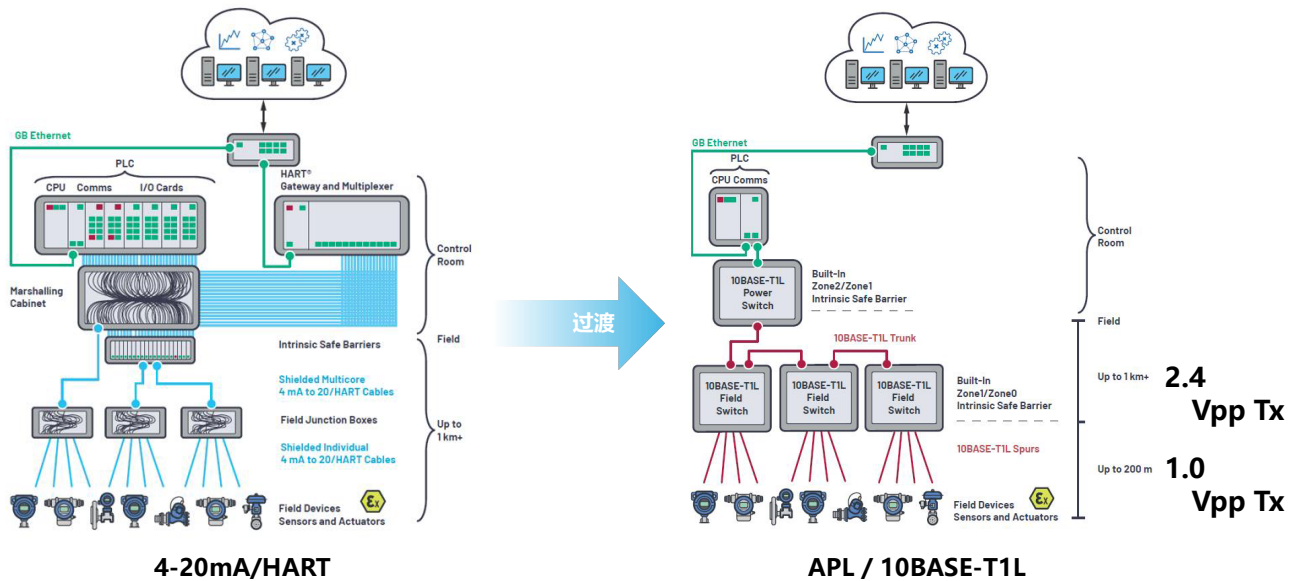


图9. 简单、无缝的边缘到云端连接

## 五、工业以太网10BASE-T1L

10BASE-T1L实现简单、无缝的边缘到云端的连接，通过单对双绞线电缆进行通信，支持长达1km的通信距离，数据速率为10Mbps。部署10BASE-T1L方案，可以使用现有布线基础设施而无需投入巨资对工厂进行改造，是一种超低功耗的灵活系统设计解决方案。

如图8所示，传统以太网使用两对或四对电缆，通信距离按标准可达100m，数据传输速度由10Mbps到Gbps；而10BASE-T1L仅使用一对电缆，通信距离可达1km，传输数据的速度固定为10Mbps，另外一个重要的特点在于此技术可用于爆炸性环境。

就过程自动化和过程控制而言，4-20mA的环路实现需要为每个终端节点提供一条专用电缆并一直连接到PLC。但考虑到所需的电缆数量，这必将形成一个非常复杂的网络，如图9所示。使用

10BASE-T1L后网络可以得以简化，仅使用一条双绞线来传输不同传感器的数据。在可扩展性方面，若要添加一个传感器而非添加一条从终端节点传感器一直连接到PLC的线缆，只需将传感器和一根小线缆添加到最近的交换机即可。

### ADI工业以太网10BASE-T1L优势

#### 1. 高性能解决方案

- ▶ MAC接口驱动器 (MII, RMII, RGMII)
- ▶ 扩展到更高性能处理器
- ▶ 支持以太网交换芯片和FPGA
- ▶ 更广泛的处理器选择
- ▶ 重用现有解决方案的架构和软件
- ▶ IEEE1588时间同步
- ▶ 高级数据包过滤

## 2. 超低系统功耗

- ▶ ADIN1100的功耗为39mW，MAC PHY ADIN1110的功耗为43mW

## 3. 经过验证的解决方案

- ▶ 完全符合10BASE-T1L IEEE®标准802.3cg™

## 4. 具有设计灵活性

- ▶ PHY仅有MII、RMII、RGMII接口，MAC-PHY直接带有SPI接口，使用低复杂度的2端口交换芯片轻松实现线形和环形拓扑

## 5. 减少调试工作和工作量

- ▶ ADI提供全套诊断工具来减少调试工作，如TDR、帧生成器、帧检查器等。长达1km的长电缆暴露在恶劣的环境中，腐蚀可能会不断积聚，任何连接或接头处可能会持续积累潮气，锋利的边缘可能会磨损电缆导致开路或短路。采用来自发生器和帧检查器的信号质量监控环回模式，运行时域反射引擎能够高度准确地检测开路和短路故障，以2%的精度找到故障的确切位置。

## ADI的10BASE-T1L产品

ADIN1100是PHY收发器，ADIN1110是MAC PHY收发器，将PHY和MAC集成在同一芯片中；ADIN2111是一款2端口低复杂度交换芯片，单个芯片中有两个10BASE-T1L PHY和一个支持10Mbps全双工通信的SPI，符合IEEE标准。ADIN2111可以配置为直通或转发操作，意味着端口1收到的数据包可以自动转发到端口2或SPI，这同样适用于端口2，因此它实际上是一个3端口交换芯片。

## 六、工业以太网10/100/1000BASE-T

针对10/100/1000BASE-T以太网，ADI提供ADIN1200和ADIN1300，前者是10/100快速以太网PHY，后者是10/100/1000千兆PHY，具有低延迟和低功耗特点。这两款均属于工业级器件，采用小型封装，设计更紧凑。产品已在-40°C到105°C的温度范围内经过测试，适用于恶劣的环境。经过EFT、ESD等EMC标准测试，确保了即使在最恶劣的环境中，也能发挥出色的稳健性能。

ADI提供称之为RPG2平台的完整系统解决方案，基于100Mbps ADIN1200 PHY的2端口多协议设计，包含必要的硬件如EtherCat、PROFINET等。RPG2平台经过了完整预认证软件，缩短了使用者的开发时间，加快产品上市。该平台可用于工厂和过程自动化、运动控制、楼宇自动化和运输等应用。

## 七、隔离式USB：稳健的外设接口

传统工业应用接口由RS-232承担，目前由隔离式USB替代，成为系统上用于调试、数据记录和固件更新的有效外设接口。由于工业系统中干扰的存在，隔离式USB实现噪声防御和高压隔离，成为安全可靠的接口，为工厂车间的任何设备提供稳健外设连接。

ADI于10年前发布了当时市场上少有的符合USB1.0和1.1标准的USB隔离器，支持0.5Mbps低速和12Mbps全速，用于连接鼠标、键盘等外设及慢速更新和调试端口。开发的第二代隔离USB，为使用者带来更灵活的选项并增强了系统稳健性。第二代USB隔离器产品具有一些关键特性，如图10所示：

1. 高速480Mbps数据速率，支持更快速的软件下载、固件更新，大量信息的传输，密集的数据记录及视频流传输等
2. 内置重定时功能，所有数据被重新定时后则可以在重传数据的一侧获得非常清晰的眼图
3. 支持USB低功耗和待机模式，此特征对电池供电外设来说尤为重要
4. 支持低速、高速和全速的自动检测
5. 提供扩展的温度范围支持
6. 支持8kV隔离栅保护，符合IEC61000-4-2 ESD要求
7. 支持市场上少有的医疗级20kV浪涌保护
8. 达到EMI B类要求，符合CISPR32等严格标准
9. 内置稳健可靠的特性，上游侧的短路保护和下游侧的PGOOD电源调制解调指示

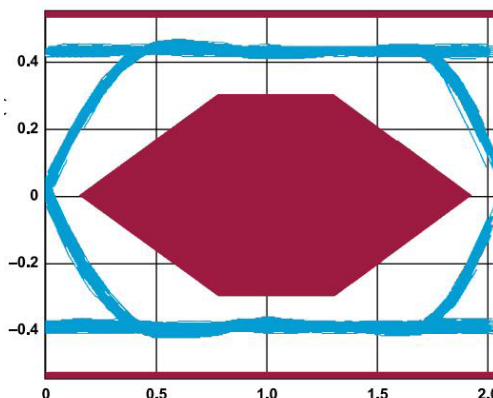
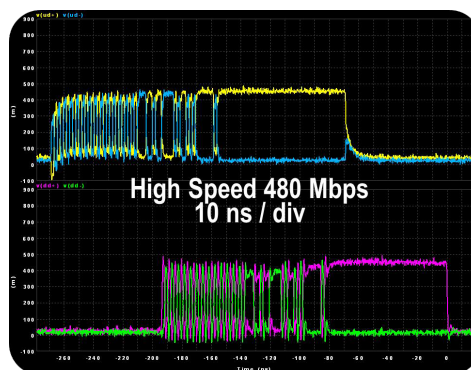


图10. 隔离式USB 2.0高速运行

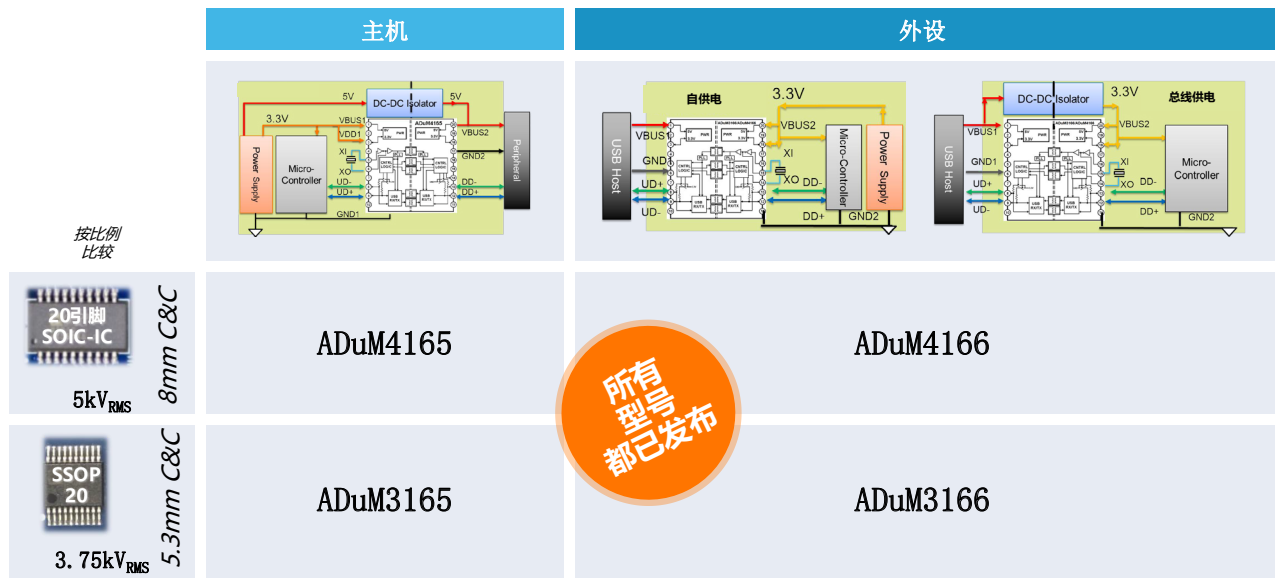


图11. 高速隔离式USB器件选择

图11的四款隔离USB接口提供两个封装选项，其中大封装支持更高的隔离等级，小封装更加节省空间。

工业现场设备形态多样化，连接需求各不相同，从现场RS-485、工厂边缘IO-link、高速隔离USB、以太网平台化RPG2，再到控制级M-LVDS，无论是设计下一座智能工厂还是面向未来改造的智能建筑，ADI丰富的解决方案满足客户的所有连接需求。

## 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、

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。



关注ADI智库

## 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](http://ez.analog.com/cn)



超越一切可能™

如需了解区域总部、销售和分销商，或联系客服和技术支持，请访问 [analog.com/cn/contact](http://analog.com/cn/contact)。

向我们的ADI技术专家提出棘手问题、浏览常见问题解答，或参与EngineerZone在线支持社区讨论。请访问 [ez.analog.com/cn](http://ez.analog.com/cn)。

©2023 Analog Devices, Inc. 保留所有权利。商标和注册商标属各自所有人所有。

“超越一切可能”是ADI公司的商标。



请访问 [ANALOG.COM/CN](http://ANALOG.COM/CN)