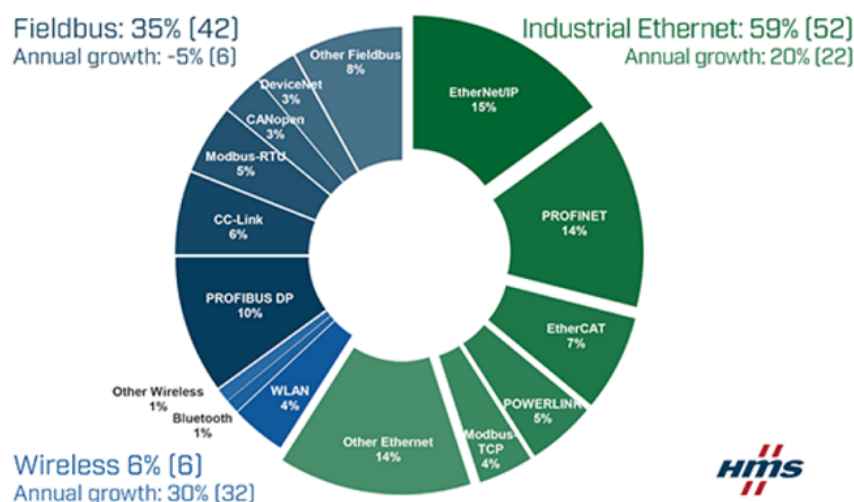


工业以太网标准：为下一代工业革命铺平道路

概述

以太网长期以来一直是控制局域网 (LAN) 和广域网 (WAN) 中数据传输方式的事实协议，其优势在企业业务领域已是众所周知 - 互操作性、冗余、灵活、可扩展、快速，而且具有成本效益。在过去的几十年中，以太网发展迅速，并快速进入工业应用领域。

TCP/IP 办公室应用中使用的以太网层协议给业界带来挑战是因为其数据包会通过可变通路广播到所有节点，没有确定的目标时间和后续延迟，因此无法实现机器到机器 (M2M) 通信所需的“实时”数据传输。现在开发了多种以太网协议，不但可以提供以太网的所有优势，还可通过改良提供更高的延迟和确定性。这些协议包括 Modbus TCP/IP™、EtherCat™、EtherNet/IP™ 和 PROFINET™。因此，以太网在工业自动化应用中的使用越来越多，迅速代替了传统的 Fieldbus 协议 - 后者通常更复杂、经常具有专用性并且距离和性能有限。实际上，工业以太网的规模现在已超过传统的 Fieldbus，并且年增长速度几乎是 Fieldbuses 的四倍。



2019 share of installed market by connection technology. Source: HMS Networks

目录

概述

理解术语

工业环境是苛刻的

机器对延迟更敏感

工业环境的以太网标准开发

北美 – ANSI/TIA-1005-A

在国际阵线上 – ISO/IEC 11801-3

三大标准 – IEC 61158、IEC 61918 和 IEC 61784

其他需要考虑的标准

我们该何去何从？

理解术语

工业领域中有很多容易混淆的术语—比如工业以太网和物联网 (IIoT)、以及工业 4.0 和智能制造。工业以太网用于描述使用以太网的工业通信协议，而 IIoT（由 IoT 发展而来）、工业 4.0 和智能制造是可互换使用的，均指将工业生产和运营与实时数字数据、机器学习 and 人工智能结合的趋势。术语工业 4.0 表示这个趋势可视为第四次工业革命—第一次是 19 世纪早期液压和蒸汽动力机器的使用，第二次是 20 世纪早期出现钢、电和装配生产线，第三次是 20 世纪 60 年代在工厂环境中引入计算机。

工业以太网实际上是工业 4.0 和 IIoT 背后的关键驱动因素，因为它在制造领域的人机之间实现了全新水平的互连接性和通信，同时可提供实时信息以更好地控制和了解整个供应链、自动化和简化维护、并改进协作和生产力—换句话说，就是智能制造。因为以太网协议可用于在 LAN 和 WAN 中传输数据，所以工业以太网也为在车间和办公室间更好地共享信息铺平了道路。借助庞大的以太网 IT 技师群体和工具，支持也变得简单。



工业环境是苛刻的

传统的以太网通常安装在相对清洁舒适的环境中，例如办公室建筑、学校和医院。而工业以太网恰恰与此相反。工业以太网用在工厂中，甚至是长距离传送机外和矿山内。这些环境都会给线缆带来巨大压力。机械压力包括冲击、持续移动（机械臂和转盘）、以及振动。切口会使湿气和化学物质进入线缆，而某些行业（例如食品和饮料）每天会用软管冲洗设备（包括线缆）。气候压力根据热环境（烘焙、炼钢）和冷环境中的温度而变化。变速电机驱动 (VFD)、电机、接触器和其他设备的电磁噪音会进入以太网线和设备。这些“MICE”压力因素可能是工业以太网线故障的主要原因，而且这些故障可能是间歇性的并且难以诊断。

机器对延迟更敏感

大部分人使用以太网连接网络、无线接入点、服务器、电话、电子邮件或打印机。以太网原本就是在人和设备（如打印机）之间传输数据包（又称帧）。传输一个数据包需要的时间通常小于一毫秒。如果由于某些原因，数据包在第一次无法完成传输，以太网会一直尝试，直到传输成功。在打印一份 2 页的文档时，这可能造成 2 秒延迟—而且没有人会发现或关心。

工业以太网将机器连接到其他运行着重要、时间敏感、有时候是危险任务的机器。考虑工业以太网控制一台机器将一辆未装配完的汽车送到下一个装配站。可以想像，移动错误会伤害设备或人，或者影响质量或生产速度。和打印机不同，如果有几个以太网数据包延迟了即使不到一秒，也必须停止机器以避免潜在的安全问题。让一切恢复安全状态并重启机器可能需要数小时的时间—仅仅因为有几个数据包丢失或延迟。

除以太网的各种优势外，人们还为工业环境设定了各种标准，从而在苛刻的工业环境中运行的时间敏感应用可以可靠地运行。

工业环境的以太网标准开发

如果企业环境使用以太网 LAN 和 WAN，那么根据工业线缆标准建立网络就可以保证互操作性和跨供应商的支持，包括支持未来的应用和可以利用成熟的安装、验证和维护方法，最终保证网络在使用寿命期间的质量和可靠性。工业网络也不例外，但如上所述，它们对数据传输错误更加敏感。

对于工业网络的线缆标准，电信工业协会 (TIA) 负责开发北美标准，而国际标准化组织 (ISO) / 国际电工委员会 (IEC) 负责开发国际标准。在 TIA，工程委员会 TR-42 负责开发和维护电信基础设施标准，并且因为供应商需要开发在国内和国际上都符合标准的连接解决方案，所以这个工程委员会的国际化程度很高。实际上，ISO/IEC WG3 工作组和 TIA TR-42 小组委员会有很多相同的活跃成员。一般来讲，除了有些术语方面的差异外，TIA 标准和 ISO/IEC 标准是高度一致的。TR-42.9 工业电信基础设施小组委员会负责处理工业环境的线缆标准。

对于工业自动化线缆，所有国际水平的工业以太网标准化都是由 IEC 小组委员会 SC65C 制定的。ISO 和 IEC 专门成立了一个联合工作组 (JWG)，即小组委员会 65C/JWG-10，专门编写工业环境的以太网接线和布线标准，以及协调设施结构化布线的重叠领域。该小组还负责开发和维护 Fieldbus 标准框架中的 Fieldbus 安装规范。

除 TIA、ISO 和 IEC 外，还有一些地区性布线标准小组为其地理区域或国家开发规范，例如 CENELEC（欧洲电子技术标准化委员会）、JSA/JSI（日本标准协会）和 CSA（加拿大标准协会）。这些地区性标准小组会积极地参与 ISO 技术咨询委员会，并且其标准中的内容通常与 TIA 和 ISO/IEC 的要求基本一致。除布线标准外，CENELEC 还有与 IEC 版本非常一致的等效 Fieldbus 标准。

现在您知道了有哪些委员会在参与，我们再来看一下他们开发的标准与工业网络的关系。

北美 – ANSI/TIA-1005-A

2012 年 5 月发布的 ANSI/TIA-1005-A 工业电信基础设施标准为工业环境布线提供了基础设施、距离、电信插座/连接器配置和拓扑方面的要求。对于一般电信布线，TIA-1005-A 在结构、拓扑和距离、安装、性能和测试要求方面引用了 ANSI/TIA-568 系列标准，另外它还还为条件较为苛刻的工业环境提供了结构化布线建议，

并包含一些专业领域，例如自动化孤岛和工业设备领域。

TIA-1005-A 标准的一个关键方面是使用 MICE（机械、入侵、顶点和电磁）方法分类环境，以便为建造工业网络选择各种组件。这包括以下特性：

- 机械：冲击、冲击振动、弯曲和挤压
- 入侵：颗粒大小、湿气和浸泡
- 气候/化学：温度、热冲击、湿度、UV（太阳辐射），以及化学污染
- 电磁：ESD，RF，EFT，瞬态地电位，磁场

MICE 根据严重程度将工业环境分为三级：

- 1 级 MICE：商业办公室环境
- 2 级 MICE：轻工业，例如装配、食品加工、医疗保健、或冲洗区域
- 3 级 MICE：重工业，例如石化、铸造、汽车制造或机械加工

MICE Environmental Classifications

 Mechanical vibration, shock	M ₁	M ₂	M ₃
 Ingress water, dust	I ₁	I ₂	I ₃
 Climatic/Chemical temperature, humidity	C ₁	C ₂	C ₃
 Electromagnetic EMI, ESD, RFI	E ₁	E ₂	E ₃

Increasing Environmental Severity

Office → Industrial

请注意并非所有 MICE 特性的级别（1、2 或 3）都是相同的，而且实际上几乎任何一个工业环境也不会只属于一个分类。例如，虽然 M3I3C3E3 环境要求网络基础设施组件能够承受高水平的振动、撞击、拉力、冲击和弯曲，但更常见的分类可能是 M1I3C3E1，其中的机械和电磁特性与 1 级商业环境没有区别，但是因为存在液体和化学品而使入侵和气候/化学分类处于 3 级。使用 MICE 分类确定组件的关键是设计时要假定恶劣场景。

在国际阵线上 – ISO/IEC 11801-3

ISO/IEC 11801-3 信息技术 -- 用户建筑群的通用布线 -- 第 3 部分：工业要求使用通用布线，这是为工业设施中的自动化孤岛或其他类型建筑中的工业空间提供稳定服务的关键。这个标准代替了 ISO/IEC 24702（发布于 2006）并规定了工业设施或其他类型建筑中的工业区域中应使用的布线系统。ISO/IEC 24702 失效后，MICE 环境分类（同样出现在 TIA-1005-A 中）即加入了 ISO/IEC 11801-1 用户建筑群的通用布线 -- 第 1 部分：常规要求中。

整体来讲，ISO/IEC 11801 标准覆盖了通常用于设施局域网的布线系统，包括 4 线对平衡双绞铜线和光纤布线。除 ISO/IEC 11801-3 外，还包括办公室空间（包含在 ISO/IEC 11801-2 中）和数据中心空间（包含于 ISO/IEC 11801-5 中）。和 TIA-568 系列标准一样，ISO/IEC 11801 系列标准规定了支持各种以太网速度所需的物理介质和传输性能。

需要指出的是，虽然 ISO/IEC 11801-3 覆盖了自动化孤岛的布线，但它并未解决自动化孤岛中关键的自动化、流程控制和监控应用 -- 这种应用特定的布线信息是 IEC 61158、IEC 61918 和 IEC 61784 系列标准提供的。

三大标准—IEC 61158、IEC 61918 和 IEC 61784

在工业以太网和解决自动化孤岛中的应用问题方面，三个最关键的布线标准是 IEC 61918 工业通信网—在工业设施安装通信网络、IEC 61784-5 工业通信网—配置文件和 IEC 61158 工业通信网—Fieldbus 规格，它们都是 IEC 的小组委员会 65C (SC65C) 负责的。

IEC 61918 标准化了所有现场总线的常见元素，包括以太网类。IEC 61784（包含 36 个文档）定义了为自动化和流程控制设计设备时应使用的一系列协议特定的通信配置。IEC 61158（包含 83 个文档）为工业通信网络提供了指导和规范，包括为 Fieldbus 和以太网网络定义物理、数据链路和应用层。它还解释了 IEC 61784 系列的结构以及如何互相结合地使用这些标准。

IEC 61784-5 覆盖了多个通信配置系列 (CPF)，其中规定了一个或多个通信配置。该标准按照各个 CPF 分为子部分，规定了各个配置的 IEC 61918 要求，并根据情况补充、修改或替换要求。IEC 61784-5 中部分常见的工业以太网配置包括 EtherCat、Profinet、Modbus TCP/IP 和 EtherNet/IP，如下面表 1 所示。

61784-5 CPF	商业名称
1	基金会 Fieldbus HSE
2	以太网/IP
3	PROFINet
4	P-NET
10	VNET/IP
11	TCnet
12	EtherCAT
13	Ethernet Powerlink
14	EPA
15	Modbus-RTPS
16	Sercos III

表 1. 工业以太网支持的配置。

这三个主要文档很大而且非常昂贵，不过您只需要与您部署的网络相关的文档。好的一面是，IEC 包含了与您使用的 CPF 相关的 IEC 61158、IEC 61918 和 61784 文档。

其他需要考虑的标准

除前面提到的工业以太网布线标准外，下面还有一些需要考虑的其他标准。

- ISO/IEC 14763-2 客户设施布线的实施和运行 – 第 2 部分：规划和安装规定了一般布线（包括工业设施）中的基础设施的规划、安装和运行。它涵盖了质量保证、安装规范、安装规划、安装实践、文档、管理、测试、检查、运行、维护和维修等主题。
- ISO/IEC 14763-3 客户设施布线的实施和运行 – 第 3 部分：光纤布线的测试介绍了如何保证按照 ISO/IEC 11801 设计并按照 ISO/IEC 14763-2 的建议安装的光纤可提供 ISO/IEC 中指定的最高传输性能 11801。该文档介绍了多模发射条件、双向 OTDR 测试、三跳测试方法、光纤端面检查和标准以及参考连接器的使用。
- IEC 61935-1 平衡和同轴信息技术布线测试规范 – 第 1 部分：安装的平衡布线（如 ISO/IEC 11801 和相关标准中的规定）中说明了如何对布线进行全面的测试，以保证布线可以支持在综合布线系统上运行的电信应用。

我们该何去何从？

随着 IIoT/Industry 4.0 不断发展，以及工业应用在以太网的基础上变成越来越集成化、标准化的环境，我们也会看到标准机构开发更多的标准并努力协调和简化各种规范。此时，TIA 和 ISO/IEC 都已经在为低复杂度 and 低速（例如 10Mb/s）M2M 通信中的单线对工业以太网应用开发标准。单线对以太网的定位是通过减少传统四线对布线系统中的无用线对大幅削减成本，并可使用较小的线缆和连接器。

TIA 的 TR-42.9 工业电信基础设施委员会正在为 ANSI/TIA-1005-A 标准编写两个附录，以解决工业设施单线对以太网应用中的布线、用例和拓扑问题。ISO/IEC 当前正在编写定义应用特定单线对以太网通道性能的技术报告 (TR 11801 9906)。另外正在编写中的还有 ISO/IEC 11801 系列标准的附录，内容是综合和设施特定环境（包括工业）中的单线对以太网组件和布线要求。

由于振动、电噪声、活动设备、撞击危险以及各种阳光、水、污染物和溶剂等因素，典型的办公级线缆和连接器并不总能满足工业自动化和控制环境的要求，因此遵守与工业环境相应的正确标准非常重要。现在您已经对工业以太网标准环境有了基本的了解，我们希望它不会让您感到困惑并且更加易于管理 - 或者至少您要知道应该从哪里开始，需要准备哪些标准文档，以及未来需要关注哪些组织和委员会。请记住，根据国家或国际标准建造您的工业网络有助于保证互操作性和对未来应用的支持。

DSX CableAnalyzer 系列内置了数百种不同的测试限制，您可能想知道其中哪些使用的是工业以太网标准并可以在这些环境中使用。我们建议您咨询机器和线缆供应商以及自动化设备供应商，以便为您的设施设置正确的测试和测试限制。下面是 DSX 中根据工业以太网标准提供的一些测试限制。

第一个是测试信道的 TIA-1005 标准。这些测试限制适用于 Cat 5e、6 或 6A 的 TIA 1005-A 信道。您需要选择 MICE “E” 水平（1、2 或 3）以根据横向变换损耗 (TCL) 测量来测试电磁敏感性。您也可选择 “+PoE” 或 “+All” 来启用更多测试。“+PoE” 测试包括一系列电阻测试，可以测试高接触电阻的点连接器，以避免它们在 MICE 2 和 3 环境中过早出现故障和间歇性问题。使用这些测试限制时需要使用 DSX 测试仪（型号 DSX-CHA004 或 DSX-CHA804）自带的信道适配器。这意味着 TIA-1005 测试是与信道配置相关的，也就是说，它不会测试链路末端连接器的性能。如果您是在现场端接这些连接器，这可能会不太合适。

第二套测试限制是以 ISO 11801-9902 技术报告为基础的。与 TIA-1005-A 限制不同，这些测试包含末端连接器的性能，因此又称“端到端链路”测试，您可在 DSX 测试限制中找到它们。与 TIA 限制相似，您可选择 Class D、E、以及 MICE “E” 级。此外，您还需要设置链路中的互联数量（从二到六）。测试链路中的最后一个连接器需要与您测试的分类限制相应的跳线适配器（Cat 5e / Class D 为 DSX-PC5ES，Cat 6 / Class E 为 DSX-PC6S，Cat 6A / Class FA 为 DSX-PC6AS）。ISO 11801-3 未来的修订将包含端到端链路，届时这些也会被加到 DSX 中。

第三套限制是为 PROFINET 连接设计的，可在 DSX 的“应用”组中找到它们。只有两个选项 – PROFINET 和 PROFINET 2pr E2E（端到端）。但是这些测试使用信道适配器，因此它们不适合现场端接的末端连接器。

根据您的选择的限制，您可能还需要设置插座配置：它是 TIA568A 还是 B 接线，仅两对，还是使用 M12 连接器（需要独立的适配器）。

关于如何为各种工业配置设置 DSX 的详细说明，请访问 <https://www.flukenetworks.com/industrialethernet/testing-industrial-ethernet-cabling-dsx-cableanalyzer>。



Testing different configurations of Ethernet connections requires the use of the correct adapters. Shown: 永久链路、信道、跳线和 M12 适配器

关于 Fluke Networks

Fluke Networks 为全球安装和维护关键网络布线基础设施的专业人员提供认证、诊断和安装的专业工具。从安装先进的数据中心到在恶劣的环境条件下恢复服务，我们传奇般的可靠性和无与伦比的性能都能保证以高效率完成工作。公司的旗舰型产品包括创新型 LinkWare™ Live — 基于云的电缆认证解决方案，迄今已上传超过 1400 万组结果。

1-800-283-5853 (US & Canada)

1-425-446-5500 (国际)

<http://www.flukenetworks.com>

Descriptions, information, and viability of the information contained in this document are subject to change without notice.

Revised: 2020 年 6 月 30 日 10:33 AM

Literature ID: 7003117

© Fluke Networks 2018