



北京鼎实创新科技股份有限公司

邮箱: ds@c-profibus.com.cn

地址: 北京市西城区新风街2号天成科技大厦B座6001-6004

电话: 86-010-82066355

网址: www.c-profibus.com.cn



Ethernet-APL综述

延伸到流程控制领域工厂现场仪表层的以太网

北京鼎实创新科技股份有限公司

2022.10

1、概述

流程制造业工厂对人员、产品和环境的安全是非常重要的，这对那些已经运行了20年以上的工厂来说尤其如此。由于危险区域和恶劣条件下潜在爆炸可能性的存在，使得部署任何新技术都必须经过彻底的测试；而且新技术采用还要带来额外的商业利益、技术操作也不能太复杂，也不能需要大规模的培训。以太网是企业事实上的通信标准，但如果不加以修改，它还是不能满足过程自动化领域的要求。

具有高级物理层（Advanced Physical Layer）的以太网（Ethernet-APL）采用双绞线通信供电、可长距离传输、具备本质安全、防爆。基于IEEE和IEC标准，Ethernet-APL支持任何基于以太网的自动化协议，它将发展成为适用于整个过程自动化领域的单一、长期稳定的技术。本文将综述这项技术的业务环境，技术规范，对不同用户类型的影响以及Ethernet-APL的发展状况。

2、流程工业过程控制技术应用状况和业务环境

当今流程行业工厂竞争表现为，是以更少的消耗生产更多的产品，利润空间薄，还要以更高的质量提高产量。数字化转型促使公司考虑进行投资，从过程自动化系统和仪表中获取更多工厂数据，这个过程中变得越来越有价值。但是，为此，需要新的程序和设备才能从工厂的每个部分获此数据，并在每次生产运行中提取更多的价值。

在制造业中，工业物联网（IIoT）和工业4.0已经成为日常运营的一部分，并且在不久的将来，这些技术还将进入过程自动化和仪表领域。在过程工业中，开放过程自动化论坛（OPAF）的NAMUR开放体系结构（NOA）或开放过程自动化标准（O-PAS）等特定领域的概念，目前正在尝试简化包括有效性结构、调试与维护、和工厂运营。无线解决方案的广泛使用，简化的现场设备集成以及现场级以太网代表了这些概念的组成部分。

领先的过程自动化供应商意识到，他们的客户需要在现有的现场设备安装中增加如标准以太网那样的通用性和通信速度。以太网已经部署在自动化金字塔的上层，并在现场使用了4线以太网设备，例如驱动器，流量，分析仪和电机控制中心。但是，它需要增强，以支持过程工厂领域中的应用。图1比较了在过程自动化领域中连接技术的特性。

	Past	Present			
	Pneumatic	Electronic + Fieldbus		Ethernet	
Technology	Pneumatic	4-20 mA	4-20 mA + HART	Fieldbus	Ethernet
Media	Air	Analog	Analog + serial	Serial digital	Network
Measurement	1 value	1 value	1+n values	n values	n values
Local access to data	-	-	Gateway required	Integrated	Integrated
Remote access to data			Gateway required	Gateway required	Integrated

Figure 1: Technologies for the field of process automation

这些领先的供应商和标准制定组织成立了一个关键小组，一起合作加快开发新的开放以太网物理层标准——可用于过程自动化和仪表并可部署在危险区域、可实现长距离传输并可选择通信线缆供电。这种称为“Ethernet-APL”的新的以太网高级物理层，支持那些具有信息结构和定义含义的自动化协议数据在现场设备之间传输，这将成为促进IIOT在流程自动化领域发展的积极因素之一，它将成为把数字化世界扩展到过程自动化和仪表领域的重要标志。

本文描述了Ethernet-APL的标准化和发展：单一的，坚固可靠的物理层，其特性可以满足流程控制领域工厂的要求。Ethernet-APL是基于以太网的通信从企业系统到现场的逻辑扩展。这个以太网连接的最后一米将允许任何企业管理层从其扩展网络的所有区域获取数据。

3、组织间的合作

2018年在先进行业标准开发组织的支持下设立了“APL项目”，签署了开发Ethernet-APL技术协议。包括：（SDO）FieldComm Group、ODVA、OPC Foundation和PROFIBUS & PROFINET International；以及过程自动化的主要行业供应商，包括ABB、艾默生、Endress+Hauser、Krohne、Pepperl+Fuchs、Phoenix Contact、R.Stahl, 罗克韦尔自动化, Samson, 西门子, Vega和横河。



Figure 2: Industry partners and associations of The APL Project

合作的主要目标是规范一个物理层以满足过程自动化的要求。为了实现这一目标，项目成员一直在致力于增强IEEE和IEC标准的潜在技术，在开发端口配置文件方面合作以适应流程行业的特殊要求，并参加工作组创建或增强SDO的相关规范和指南文件。敲定所有这些标准和规范，以确保所有这些标准和规范适合用户和供应商。

基于现有和广泛使用的标准，在大型公司和过程自动化领域最重要的SDO的合作下，统一的物理层“Ethernet-APL”是可以期待的。

4、进入到过程控制工厂的以太网技术

以太网是广泛接受的有线数字通信标准，已标准化在IEEE 802.3中。它在工业和家庭中已广泛接受，这创造了一个安装，故障排除和诊断的标准化工具的生态系统。这样可以提高实施效率，例如：

- √网络配置工作量少
- √相同工具包可用于OT和IT中故障排除和故障查找
- √安装工作量少

但是，当今的以太网物理层无法满足，特别是流程行业工厂现场恶劣环境条件产生的特定需求。适用于流程行业工厂的以太网物理层需要满足以下条件：

- √两线电缆
- √长距离传输
- √同一条电缆上实现电源和通讯传输
- √支持所有防爆技术，包括本质安全
- √简单的安装技术
- √重复使用现有的“A”型现场总线电缆，可降低成本——从现场总线到Ethernet-APL的轻松转换。
- √抗电磁干扰
- √支持电涌保护

Ethernet-APL是基于10BASE-T1L的单对以太网（SPE）的增强物理层如图4所示。它通过最长1000 m的电缆以10 MBit/s的速率进行通信，全双工，比HART或现场总线快300倍以上的技术。它是以太网的逻辑扩展，并为其在流程行业工厂现场操作提供了可靠的特性。Ethernet-APL是一个物理层，它将能够支持Ethernet/IP、HART IP、OPC UA、PROFINET或任何其他更高层的协议。

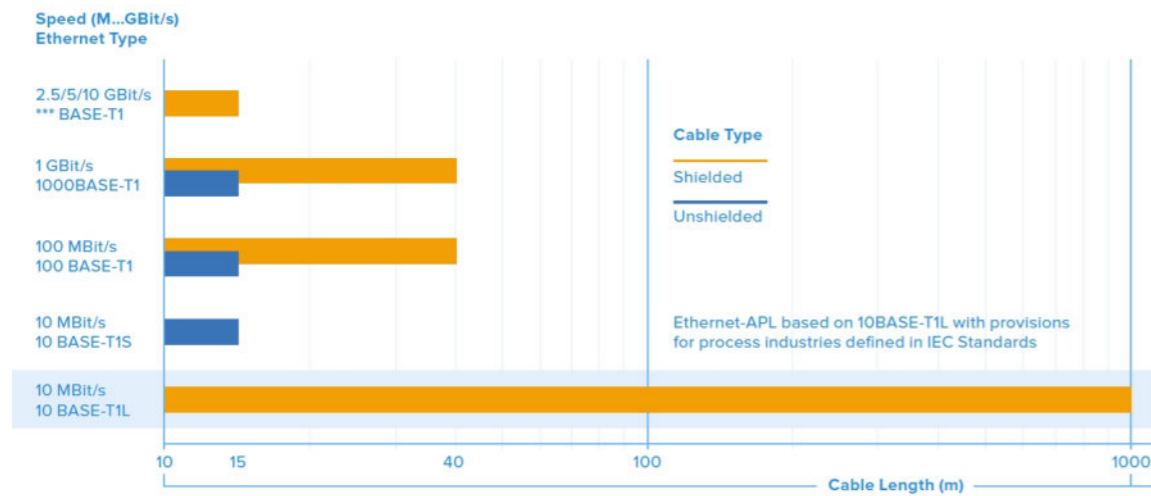


Figure 3: Ethernet-APL and Types of Single-Pair Ethernet defined in IEEE 802.3

5、标准化使其长远稳定

通信基于IEEE Std 802.3cg-2019中定义的10BASE-T1L，供建筑和工业自动化中许多细分市场的供应商采用。这个巨大的市场规模使半导体制造商能够大量提供芯片，从而为长期稳定的技术和平台做出了贡

献，这些技术和平台可以无缝集成到现有设备或仪器中。

Ethernet-APL包括过程应用程序所需的其他属性。这些要求是由于室外安装和超出长电缆长度的爆炸性危险区域保护而导致的。其他电气特性遵循各自的IEC标准，提供应用中的互操作性和简便性。

(1) 2-WISE表示2线本质安全以太网。此IEC技术规范IEC TS 60079-47 (2-WISE) 定义了所有危险区域和分区的本质安全保护。对于用户而言，这包括无需计算即可验证本质安全性的简单步骤。

(2) “APL项目”通过定义具有和不具有爆炸危险区域保护的多个功率级别的端口配置文件，创建了Ethernet-APL的概念。设备和仪器上的标记指示功率级别及“源 (sourcing)”或“漏 (sinking)”。这为从工程设计到操作和维护的互操作性提供了一个简单的框架。

(3) Ethernet-APL允许将电缆连接到螺钉型或弹簧夹端子，从而支持电缆通过密封套进入。此外，定义明确的连接器技术可确保安装过程中的简便性。

6、组件与拓扑

Ethernet-APL支持各种安装拓扑，可选冗余、“干线与分支 (trunk-and-spur)”的柔性概念。Ethernet-APL仅在构成“网段”的通信伙伴之间的每个连接中明确指定点对点 (point-to-point) 连接。Ethernet-APL交换机因此隔离了网段之间的通信。这样可以消除诸如串扰之类的干扰，并从本质上保护通信免受不同网段上的设备故障的影响。

·以太网-APL定义了两种通用的网段类型：

- √“干线Trunk”为长达1000 m的长电缆提供高功率和信号电平。
- √“分支Spur”具有较低的功率，并具有可选的本质安全性，最长可达200 m。
- √端口配置文件指定电源和通信信号的级别，以确保互操作性。

·端口可以分类为：

P=供电电源

L=负载，功率消耗

C=级联，用于菊花链配置

U=无电源

Table 1: Shows all technical attributes applicable to Ethernet-APL

Parameter	Specification
Standards	IEEE 802.3cg-2019 (10BASE-T1L), IEC 60079, IEC 61158
Power supply output	Up to 60 W, on APL Trunk
Switched network	Yes
Redundant cable and switches	Optional
Reference cable type	IEC 61158-2, Type A for intrinsic safety
Cable cross section	0,324 ... 2,5 mm ² /AWG 22-14
Maximum trunk length	1000 m/Into Zone 1, Div. 2
Maximum spur length	200 m/Into Zone 0, Div. 1
Communications speed	10 MBit/s, full-duplex
Hazardous area protection:	For all zones and divisions. Inspired by fieldbus with optional intrinsic safety at the device.

图4和图5说明了紧凑布局和需要长电缆敷设的工厂拓扑选择的灵活性。

·两种典型的交换机类型使拓扑具有完全的灵活性:

- (1) 电源型交换机将电源和通信输出到一个或多个干线 (Trunk) 端口。它通常由外部供电;
- (2) 现场型交换机提供至少一个可与分支 (Spur) 连接的端口。它可以通过Ethernet-APL干线 (Trunk) 或外部供电。

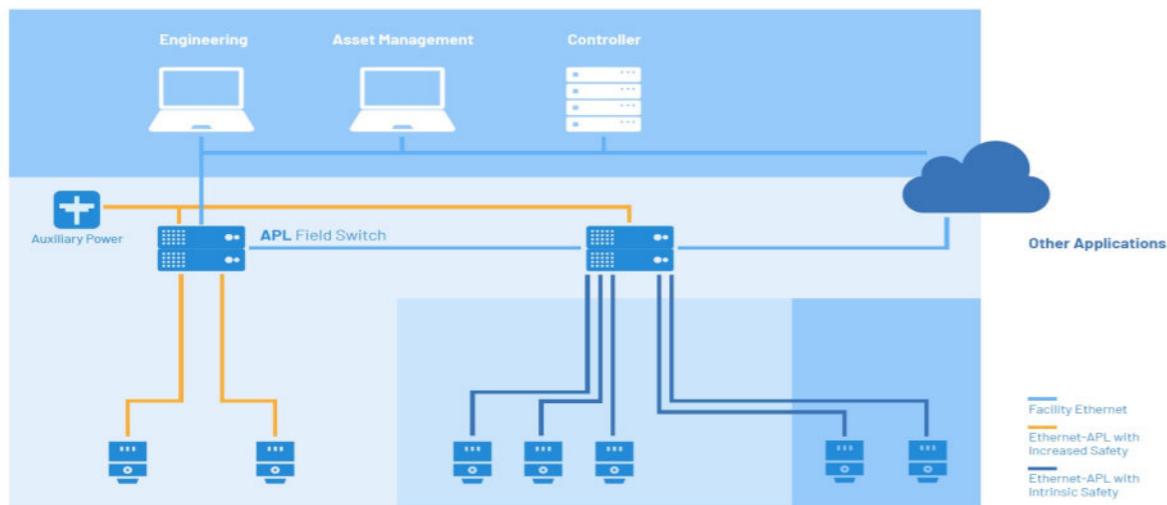


Figure 4: Example topology for a compact star installation

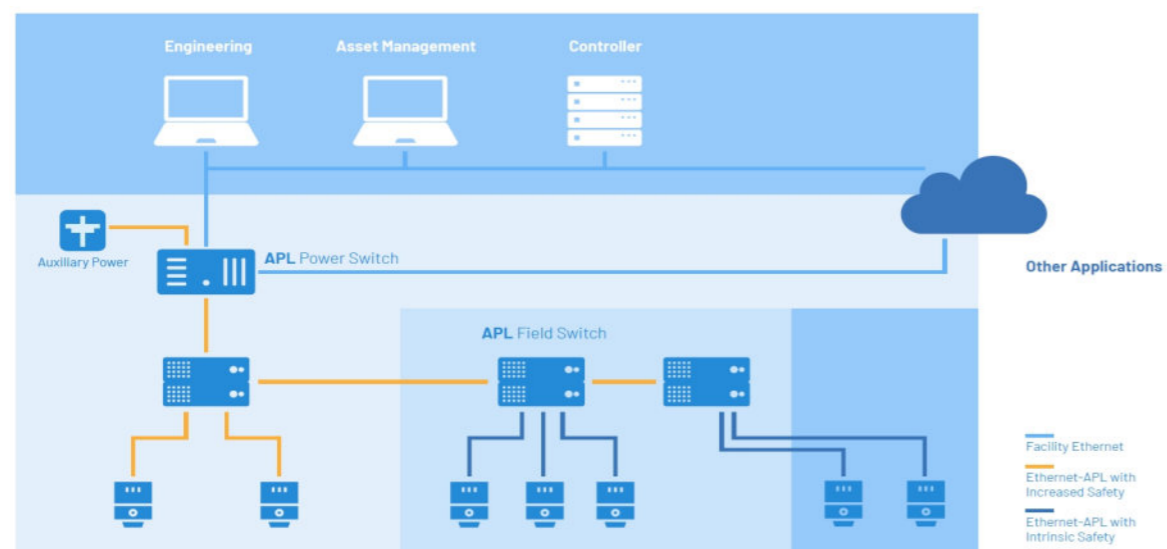


Figure 5: Example topology for long cable reach with up to 1000 m between switches on the trunk

7、可伸缩性和冗余

一个管理型交换网络体系结构、高达60 W的功率设计、以及10 Mbit / s的数据流量，为可连接到Ethernet-APL的交换机和仪器仪表的数量提供了很好的可扩展性。此外，Ethernet-APL可以支持ISO-OSI的高层协议模型通信（如：PROFINET,ETHERNET/IP）并启用其中的功能。这些高层协议模型通信功能满足了用户对基于以太网的通信通常期望的要求如：网络本身的简单性、便利性、和对自动化性的一般要求。这些包括：

- (1) 交换机的自动邻域检测为简单的设备交换提供了手段。
- (2) 多个通信路径可以并行运行。用户可以完全访问用于资产管理和仪表板的现场仪器，同时不干扰过程自动化通信。
- (3) 在Ethernet-APL中继段失败的情况下，网络层的环冗余或弹性概念可以重新路由通信，以获得更高的工厂可用性。

Ethernet-APL为以太网提供了一个单一的、高度加固的版本，适合于流程工厂。它提供了在现场使用数字通信处理所有方面的尽可能简单的方法。

8、实施与安装

·Ethernet-APL的所有标准化连接选择都已在使用中得到验证并广为人知:

- 弹簧夹端子
- 螺旋式端子
- M8和M12连接器

简单的带屏蔽的两线制回路只需要一个螺丝刀、以及相关的电线准备工具即可确保连接到自动化安装的其余部分。Ethernet-APL指定现场总线电缆类型A，IEC 61158-2指定为AWG 22至14类的参考电缆，布线横截面积为0.324~2.5 mm²。这样可以轻松利用现有现场总线的安装，包括对本质安全的支持。

Ethernet-APL规定极性无关以减少安装期间的布线错误。

基于以太网系统的固有诊断可以轻松地用于确定网络的稳健性、检测信号强度并确定可能的安装问题。维护和工程团队与控制室的操作人员一起工作，可以轻松，快速地安装，更换，重新连接和调试任何设备。标准开发组织的安装指南为技术人员和电工提供了详细信息和指南。安装指南包括电缆类型的规划和选择，电缆长度和需要考虑的参数。像所有基于以太网的技术一样，在安装整个生命周期中，都有大量的软件和硬件工具来监视，验证和测试系统行为。

9、采用以太网-APL

在对互操作性有强烈要求的环境中，以太网已经证明自己是一种可靠的通信技术。对于工业、办公楼和许多私人住宅来说这是正确的。以太网技术的高度标准化导致了广泛接受的环境，其工具范围从产品开发和协议栈到网络规划，调试和故障排除。无缝实施将确保快速采用、高参与度，从而为流程自动化系统生命周期中的所有各方(供应商、工程公司、安装人员和操作人员)提供长期的业务环境。通过重复使用已经安装的现场总线电缆，增加了灵活性，降低了风险，这为明确的迁移策略提供了一条途径。由于防火墙保持不变，因此可大大降低布线成本。

Ethernet-APL支持所有当前和未来的高层通信协议和服务，并使网络基础设施扁平化。Ethernet-APL消除了协议转换和网关的需求，提供了无障碍和并行访问能力，并提供了数据驱动经济中所需的额外速度。表2比较了当今使用的通信技术的主要属性。

Ethernet-APL将以太网通信的最佳属性与两线安装技术结合在一起。这使得Ethernet-APL很容易部署为现场应用的标准，从危险区域的流程工厂到Zone 0 / Division 1到混合工厂，采用了离散和过程自动化技术。由于Ethernet-APL只是物理层，因此可以应用反映最终用户需求的任何当前和未来的功能安全和安全性应用程序概念。新的开发可以独立于物理层应用，提供技术的长期稳定性，并保护安装投资。

Table 2: Technical comparison of communication technologies

Comparison of Technologies for the Field of Process Plants	4-20 mA with HART	Fieldbus	Ethernet 100BASE-TX	Ethernet 10BASE-T1L
Single Pair Cable	✓	✓	✗	✓
Communication	1.2 kbit/s half duplex	31.25 kbit/s half duplex	100 Mbit/s full duplex	10 Mbit/s full duplex
Reference Cable	n/a	Type 'A'	CAT 5/6	Type 'A'
Trunk Length	n/a	typ. 700 m	100 m	1000 m
Spur Length	n/a	120 m	n/a	200 m
Screw Type Connector	✓	✓	(✓) ¹	✓
Polarity independence	✗	(✓) ³	n/a	✓
Intrinsic safety option	✓	✓	(✓) ²	✓
One network technology from field to enterprise	✗	✗	✓	✓

1: Available up to 1 GHz, certified for Zone 1

2: Available by 100BASE-TX-IS from Intrinsically Safe Ethernet Working Group

3: Dependent upon vendor

10、设备开发与实施

现场设备通常会包含许多有关自身的智能数据，例如自我诊断功能。Ethernet-APL提供了一种最佳方法来并行访问这些数据，以实现过程控制。该技术可单独访问仪器仪表，因此将智能仪器仪表的潜力与IIoT应用程序结合在一起。这使产品经理能够针对现场设备供应商的不同特点设计额外的服务、商业模式和独特的销售理念。与传统技术相比，Ethernet-APL大大降低了访问这些有益数据的成本。Ethernet-APL减少了对协议转换器，其他系统组件或改建方案的需求，而这在其他情况下将是必需的，否则这些需求都是难免的。

·预期的市场规模有力地支持在现场设备实施中考虑使用以太网-APL的情况：

- (1) Ethernet-APL满足过程自动化的要求（例如，危险区域，长电缆范围，简单维护等）。
- (2) 基于对智能仪器仪表数据的访问，单一网络技术的可用性为设备制造商和工厂经理打开了新的业务潜力。
- (3) 专注于过程自动化的大型公司和SDO参与了APL项目并在工作组中进行协作，因此可以期望该技术获得较高的市场接受度。
- (4) 为了争取在市场上的技术领先地位，在不久的将来产品组合中必须考虑Ethernet-APL。在智能仪器仪表中实现Ethernet-APL只需要在PHY（物理层）和协议栈方面做有限的工作。

·在专门针对以Ethernet-APL的设备实现过程中必须考虑什么？答案很简单：

- (1) Ethernet-APL增强了以太网物理层。通过在现场设备硬件中实现相应的10BASE-T1L PHY，可以确保必要的连接。可从著名的芯片制造商处购买标准PHY芯片。

(2) 由于根据ISO OSI模型各层的独立性，任何以太网协议的实施都没有限制。因此，对于实现有关Ethernet-APL的3-7层协议，无需进行任何修改。应用层协议已经使用了很多年，尤其是在离散自动化中，可以根据它们的现有规范、指南和认证轻松实现。

(3) 作为对Ethernet-APL物理层规范扩展的一部分，相应的测试规范和认证也可以进行调整。这确保了实现符合标准。

11、操作方式

在过程自动化中，工厂效率正变得越来越重要。为此，必须确保工厂能够可靠地运行，为未来维护周期提供有关仪器仪表信息，在出现故障时易于诊断，对第三方设备制造商的设备也应如此。这些方面的基础是不断从已安装的基础设备收集和分析数据。Ethernet-APL支持高效过程工厂的以下所有要求。

- (1) 可靠性：基于公认的以太网标准，确保了工厂的可靠运行。几十年来，以太网一直是IT世界的标准，并且已经在离散，过程和混合自动化中成功使用了很多年。
- (2) 高可用性：以太网协议功能通过可用性概念来确保过程的高可用性，例如，针对控制器故障的系统冗余或针对电缆断裂的介质冗余。
- (3) 预测性维护：智能现场设备内部具有用于预测性维护的数据。借助以太网技术，可以访问数据并将其用于集中监视设备状态。
- (4) 诊断：对于以太网技术，可以使用简单的网络诊断工具来确定故障根源和故障原因。
- (5) 互操作性：对于Ethernet-APL，将提供测试规范和认证，以确保来自各种设备供应商的组件的互操作性，并且还将支持设备交换。

总而言之，Ethernet-APL通过自动化金字塔内部和整个金字塔之间的技术一致性来支持这种新的数据规范。随着以太网技术在流程工厂领域的应用，操作技术（OT）与IT技术相结合，实现了单一网络技术的愿景。对现场数据的访问可根据加工厂的业务需求提供新的数字服务。以太网技术提供对这些信息的实时访问。在IIoT应用程序框架内，对数据的进一步处理几乎没有任何限制，例如NAMUR开放架构（NOA）所要求的那些限制。维护仪表盘或过程值趋势监视可以进一步支持特定的过程优化。

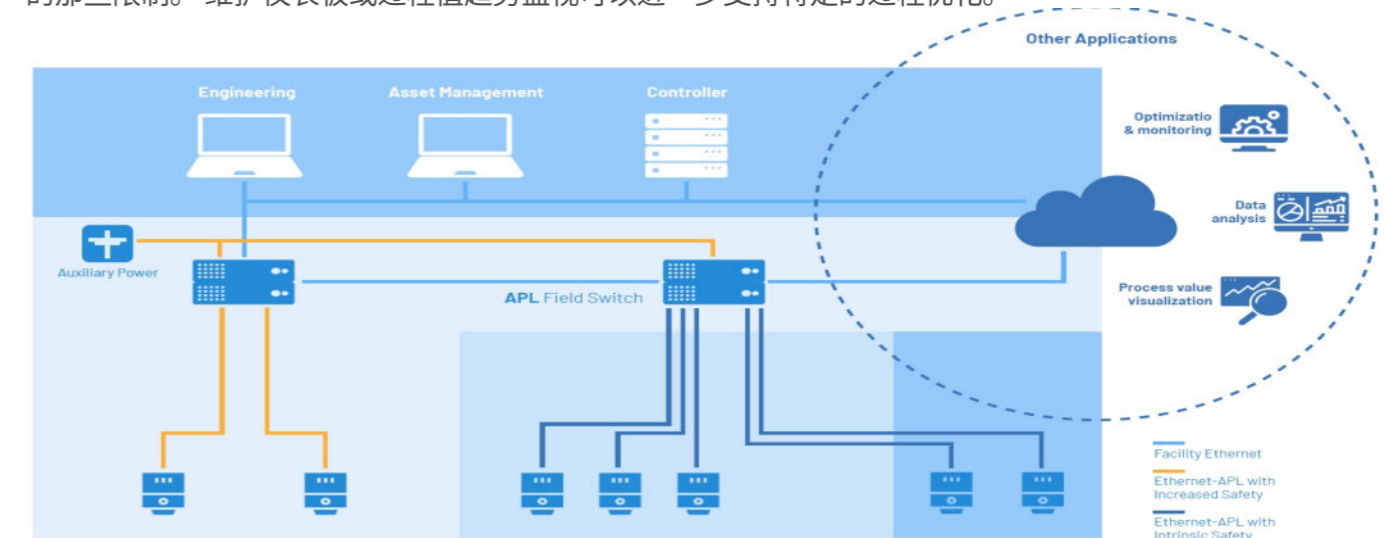


Figure 6: Networking the entire automation pyramid

12、设计规划与工程

我们习惯了使用目前大量的基于以太网的软件、工具，和程序，这为流程领域工厂的工程设计提供了高度的自动化的可能。当前和未来的工程师都可以轻松掌握这些技术。Ethernet-APL可以轻松地将这些功能集成到过程工厂领域。这样，工程师可以通过多任务的自动化来满足他们的项目进度。

软件工具的简化、自动化：

- (1) 网络规划；
- (2) 典型回路的创建与设计；
- (3) 访问存储在仪器中的所有详细信息，例如：

√设备驱动程序和说明，例如FDI包；

√手册；

√认证；

- (4) 仪器参数设置；
- (5) 运行过程中的仪表器诊断

协议转换器和网关的工程应用和维护将变得过时。在智能手机或计算机上运行的支持工作的APP可以满足新工作人员的预期要求。参与APL项目的SDO和供应商的开发人员和专家正在制定规划和安装指南和最佳实施。这有利于知识的轻松传递，以便早期采用Ethernet-APL。标准的以太网诊断工具可帮助新手或经验丰富的仪器技术人员和工程师进行日常工作，从而使学习曲线变浅。

一旦所有标准和指南都面世，众多供应商就可以在其设备或其他产品中采用Ethernet-APL。向供应商和用户工程服务的公司已经表现出兴趣。可以预期，一个强大的生态系统将不断发展。

13、现场安装

新一代电工和仪表技术人员所需的网络技能是无数次网络升级产生的结果，许多工厂通过网络升级来访问和提取其过程自动化系统中的更多数据。有线或无线以太网已经成为家庭，办公室和工厂日常生活的一部分。从路由器，交换机和无线访问点开始，Ethernet-APL集成中唯一需要附加是两线物理层，包括本质安全的火花保护也提供了现场和仪表技术人员熟悉的相同安装和保护规则。不允许仪器互相干扰，只能以对等方式进行配置。凭借极性保护和设备内部强制终止等功能，该技术提供了一条平滑而短的学习曲线。

尽管当今的技术人员在安装之前可能需要一些时间来校准，配置和准备模拟现场设备，但准备数字现场设备所花费的时间将大大减少。一旦安装并连接了现场设备，支持的技术包括用于自动网络设置，设备发现，配置和实例化的应用程序和向导。2线Ethernet-APL环路允许使用更高速度的数据传输以简化安装，并使技术人员可以在极短的时间内充满信心地完成分配。不仅是螺丝刀了，手持数据设备（例如智能手机）、电缆测试设备以及经过改进的用户配置，都将成为技术人员工具箱的附加部分，这些技术人员维护范围涵盖了从基础设施设备的模拟设备到数字现场仪表。

14、项目范围，时间表和结论

考虑到在两根导线上提供高带宽的电力和数据通讯的技术，开发人员开发了一个通用的物理层，以满足加工厂的需要。专家们创建并发布了工厂的愿景：“现场以太网”。

该以太网高级物理层评估项目由一些设备供应商于2011年启动。评估项目的目标是定义一个解决方案，该解决方案符合过程自动化的苛刻要求，不会影响应用层协议，因此也不会影响已建立的工业以太网协议。2016年，评估项目成功结束，相关规范得到了改进。

如图所示，开发Ethernet-APL的项目已经实现了第一个里程碑。连同IEEE中发布的10BASE-T1L规范一起，2-Wire本质安全以太网（2-WISE）和电源端口配置文件的IEC规范进展也步入正轨。最终的PHY芯片已于2021年初上市，因此首批现场设备和基础设施组件预计也将于2021年上市。对于以太网APL系统的安装，工程指南将及时发布。

德国第一个使用Ethernet-APL原型的试点项目证明了该技术的工作原理和优势。用于各种测量类型的执行器和传感器的2线以太网现场设备的安装证明了现场设备安装的简便性，与过程自动化系统的集成以及对现场设备数据的并行访问。

The Ethernet Advanced Layer



满足所有这些要求将有助于用户接受：

- (1) 轻松扩展到现有工厂；
- (2) 可实现透明和开放，并行访问已在使用中的现场仪器；
- (3) 确保基于单个网络的互操作性；
- (4) 为爆炸危险区域提供标准化和公认的控制流程；
- (5) 实现所有设备及功能，能够简单、灵活、独立于供应商的应用。

增强的连通性提供了一个强大的工具，可以减少日常操作和工作的复杂性。基于对智能仪器数据的访问，单一网络技术的可用性为设备制造商和工厂经理打开了新的业务潜力。借助以太网高级物理层，过程工厂的愿景变成了现实：“以太网延伸到了现场”