

工业 PON 2.0 白皮书



工业互联网产业联盟
Alliance of Industrial Internet

中国工业互联网产业联盟

2020 年 1 月

声 明

本报告所载的材料和信息，包括但不限于文本、图片、数据、观点、建议，不构成法律建议，也不应替代律师意见。本报告所有材料或内容的知识产权归工业互联网产业联盟所有（注明是引自其他文献的内容除外），并受法律保护。如需转载，需联系本联盟并获得授权许可。未经许可，任何人不得将报告的全部或部分内容以发布、转载、汇编、转让、出售等方式使用，不得将报告的全部或部分内容通过网络方式传播，不得在任何公开场合使用报告内相关描述及相关数据图表。违反上述声明者，本联盟将追究其相关法律责任。

工业互联网产业联盟
Alliance of Industrial Internet

工业互联网产业联盟

联系电话：010-62305887

邮箱：aia@caict.ac.cn

目 录

第一章	工业 PON 2.0 总体架构.....	1
1.1	工业 PON 2.0 整体思路.....	1
1.1.1.	背景介绍.....	1
1.1.2.	工业 PON 1.0 架构和面临的主要问题.....	2
1.1.3.	工业 PON 2.0 的定义以及解决的问题.....	3
1.2	工业 PON 2.0 总体架构.....	4
1.2.1.	工业 PON 2.0 系统架构.....	4
1.2.2.	工业 PON 2.0 在工业互联网体系中的位置.....	5
1.2.3.	工业 PON 2.0 与工业 PON 1.0 之间的关系.....	6
第二章	集成数据采集功能的工业 PON 2.0 网关.....	7
2.1	背景介绍.....	7
2.2	需求分析.....	7
2.3	技术要求.....	8
2.4	系统架构解析.....	9
2.5	关键技术.....	10
2.5.1.	工业现场协议转换和兼容.....	10
2.5.2.	开放软件平台技术.....	12
第三章	网络可用性保障.....	12
3.1	保护倒换.....	12
3.2	流氓 ONU 检测与隔离.....	15
第四章	工业 PON 2.0 智能管理平台.....	16
4.1	技术现状和背景介绍.....	16
4.2	技术方案.....	17
4.3	系统架构解析.....	19
4.4	关键技术.....	20
第五章	典型部署应用场景.....	21
5.1	离散制造行业应用场景.....	21
5.1.1.	场景特点.....	21
5.1.2.	案例介绍.....	22
5.2	不同网络规模的部署应用场景及案例展示.....	25
第六章	演进思路.....	30

前 言

推动互联网与工业融合创新，驱动工业网络化、数字化、智能化发展，是我国制造行业未来发展的主流方向，是应对当前发达国家“高端制造回流”与发展中国家“中低端制造分流”对我国制造行业发展影响的有效方案。

工业互联网目前已上升为我国“制造强国”的国家战略，《国务院关于积极推进“互联网+”行动的指导意见》、《工业和信息化部关于贯彻落实<国务院关于积极推进“互联网+”行动的指导意见>的行动计划（2015-2018 年）》等一系列指导性文件提出要坚持以供供给侧结构性改革为主线，加快发展数字经济，推动实体经济和数字经济融合发展，推动互联网、大数据、人工智能同实体经济深度融合，做好信息化和工业化深度融合这篇大文章，推动制造业加速向数字化、网络化、智能化发展。旨在推动互联网与工业融合创新，形成多重优势叠加，驱动工业数字化网络化智能化发展，走具有中国特色的新型工业化道路，建设制造强国和网络强国。

无源光网络（PON）技术目前在公众客户接入网中得到了广泛部署，实现了我国光纤到户（FTTH）覆盖范围达到世界领先水平，助力公众客户的平均接入带宽从 100Mbps 向 1Gbps 及更高带宽迈进。基于 PON 技术，结合工业场景业务和技术特点，工业 PON 是一套全新的安全、可靠、融合、先进的工业网络综合解决方案，是工厂内车间数据采集组网的全新方案。本文档将对工业 PON 的总体架构、与数据采集功能的集成、网络可用性保障、智能管理平台、典型应用场景和演进思路等多个方面进行阐述。

本文档由中国电信集团有限公司牵头，工业互联网产业联盟多家成员单位参加编写完成。主要参与单位有：中国信息通信研究院、中兴通讯股份有限公司、华为技术有限公司。

本报告的编写组成员：金嘉亮、孙慧、陈洁、程宁、李汉国。

第一章 工业 PON 2.0 总体架构

1.1 工业 PON 2.0 整体思路

1.1.1. 背景介绍

中国制造业经过近几十年的飞速发展，规模已经跃居世界第一。随着制造业规模的日趋壮大，传统的工厂内网络性能、稳定性、维护成本、业务改造升级等方面已经逐渐无法跟上制造业本身的发展步伐。同时，工业设备种类繁杂、工业通信协议格式各异，协议承载和分析的成本巨大，工业企业急需灵活、智能的协议分析解决方案。随着生产制造云化、边缘计算等新兴技术方案的兴起，如何搭建一张实现从现场总线到云端平台的端到端网络，实现工业互联网所涉及的各类生产元素之间的互联互通，是实现智能化的基础条件。

为实现生产过程中的设备联网以及全流程的数据采集、流动及智能化生产，工业互联网领域的 PON 技术已成为工厂内网络的一种主要方向。工业 PON 技术是采用先进的无源光纤通信技术和工厂自动化融合而构建的一个新兴的网络平台，是构建未来工厂智能化的基础。工业互联网 PON 技术可以有效解决智能工厂和数字车间的通信交流，构造安全可靠的工厂内网络，完成制造业基础设备、工艺、物流、人员等各方面基础信息采集，解决困扰企业的工业协议繁多和异构网络互联问题，实现工业现场协议的灵活转换和统一格式，同时为企业上云做好基础网络和数据服务。

工业 PON 技术相比传统以太网交换机技术，是一套全新的安全、可靠、融合、先进的工业网络综合解决方案，是工厂内车间数据采集组网的全新方案。但目前工业 PON 技术大多数实现方式沿用民用通信的现有成熟技术，仅仅满足民用通信领域的相关技术指标要求，对于工业场景中高可靠性、倒换保护、工业协议转换、工业环境指标支持能力等方面特有需求的支持程度仍存在较大差距。

同时，在工业协议转换方面，工业中各种生产线的协议多达上百种，这些协议不可能都提前预装到设备上，工业数据采集网关须以灵活的方式按需升级/安装支持各类协议转换，才能适应各种生产线的快速安装上线需求。

以上背景下，基于现有已在公众客户接入网中广泛应用的 PON 技术，本白皮书文档将探讨研究如何将其应用在工业/制造业，利用广泛覆盖的 PON 网络，为工业企业提供一张高质量/高可靠/高安全性的通信网络，提供各种工业接口和工业协议对接支持，实现工厂各种工业设备的互联，以及工厂办公及和监控网络的融合承载，打通工厂生产管理网络到生产车间/现场网络之间的屏障，提升全流程生产效率、提高质量、降低成本，提高生产管理的效率和生产制造的智能化水平，达到改进行业各环节生产质量、提升行业全流程生产效率、提高全产业链协作效能的战略目标。

1.1.2. 工业 PON 1.0 架构和面临的主要问题

现有的工业 PON1.0 系统，技术方案基于现有公众接入网的 PON 系统，关键技术指标和业务功能方面，与公众接入网 PON 系统的相应指标保持基本一致。

工业 PON1.0 系统，主要针对工业场景的需求，在 PON 终端设备用户侧接口方面提供了对于工业常用接口的支持（例如 RS485 等接口）；在 PON 设备所能支持的环境指标参数，例如高低温范围、湿度、防尘、供电方式等方面进行了相应的加强和改进；同时针对工业组网特点，提供了类环形手拉手保护等组网方式。

但是，原有的工业 PON1.0 系统技术方案基本沿用运营商大网的 PON 系统设计，关键技术指标和业务功能基本一致；虽然针对工业场景，增加了一些常用接口，优化了环境参数和保护方式，但与主流数据采集和协议转换设备仍然相互独立，基本上还是两套独立的系统：PON 系统提供底层网络承载，数据采集和协议转换设备提供工业数据采集/协议网关。示意如下：

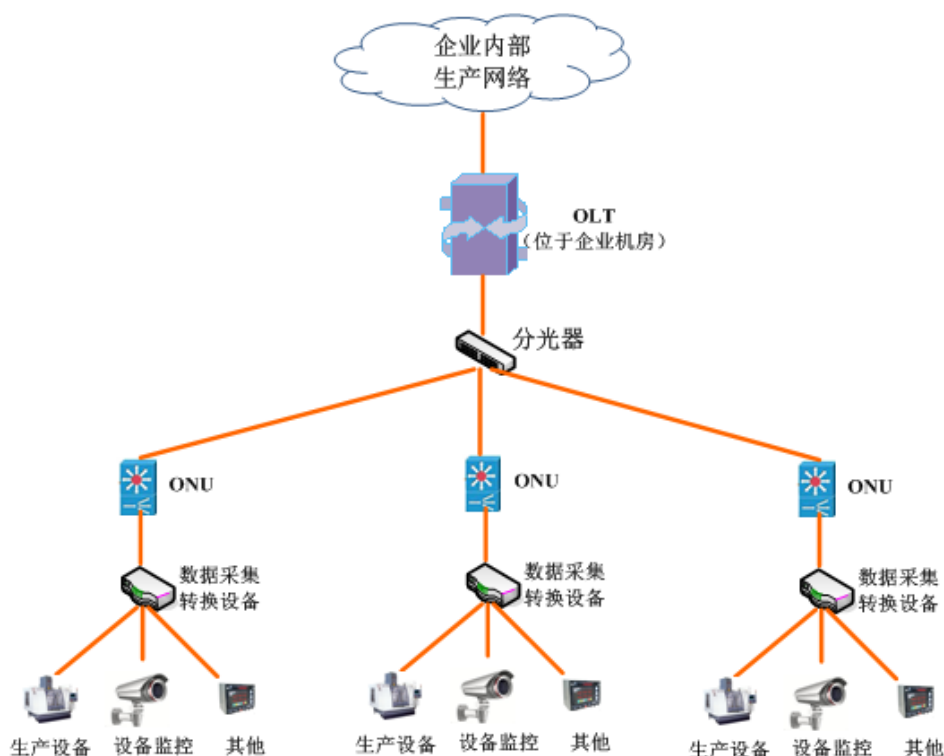


图 1.1 工业 PON 1.0 的组网示意图

1.1.3. 工业 PON 2.0 的定义以及解决的问题

针对现有工业 PON1.0 系统存在的不足，中国电信联合国内主流 PON 设备厂商，面向工业制造业企业网络升级演进的实际需求，提出了工业 PON2.0 的概念和整体系统架构。

工业 PON2.0 的核心理念，是提供一套满足工业场景指标需求、提供工业协议采集转换开放平台的工厂内网络连接综合解决方案，满足各种行业、各类规模企业的网络应用需求。

在工业 PON 局端设备 OLT 侧，提供完备的保护倒换功能，提供高可靠性的业务能力。

在工业 PON 终端侧，提升环境指标、保护倒换、工业协议灵活转换等工业场景下特有的性能，满足工业场景性能需求。研制开放性的协议转换网关平台，整合现有协议转换和处理技术，实现协议灵活转换功能，和现有车间数据采集网关实现融合，减少网络层级和复杂度，降低协议转换的实现成本。

云平台侧，配合相应的工业云平台，实现工业 PON 数采终端与工业云平台的有效整合，在平台侧实现对工业数据的解析计算和协议转换等功能。

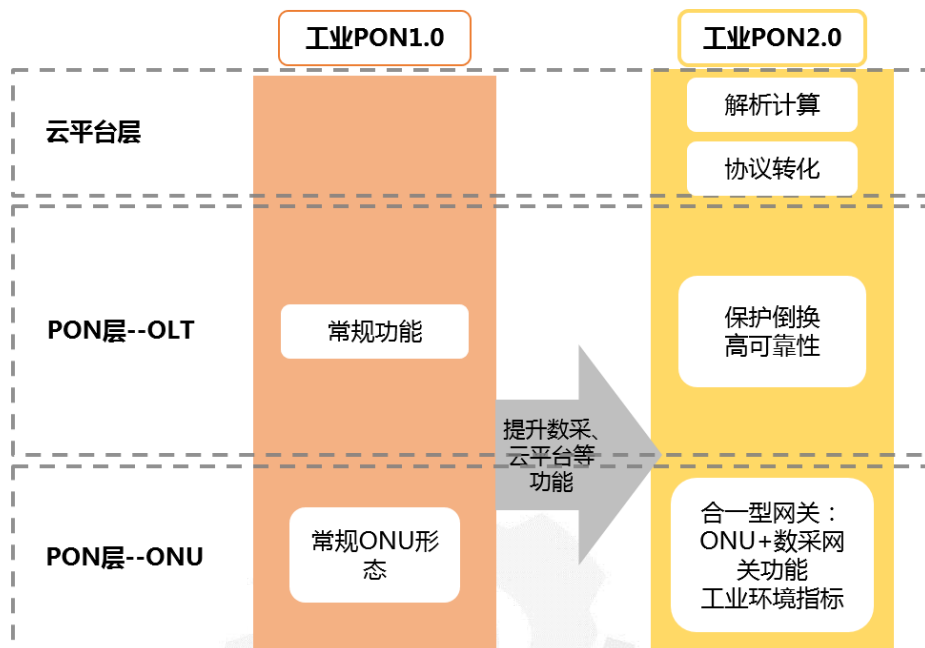


图 1.2 工业 PON 1.0 向工业 PON 2.0 的演进和能力提升

1.2 工业 PON 2.0 总体架构

1.2.1. 工业 PON 2.0 系统架构

工业 PON 接入网关(ONU)实现多种工业设备、传感器的接入,通过工业 PON 网络实现多种设备通信数据和协议的接入和传输,汇聚设备 OLT 将工业数据汇聚并传送到云平台应用层。

工业 PON2.0 网关采用配置/脚本/非标协议学习三种方式,通过两类 ONU 实现对数百种标准/非标准工业协议和信号的按需加载/转换,减少了网络层级和复杂度,降低了协议转换成本;能更好匹配各行业数据采集/流程生产/离散生产的快速需求。

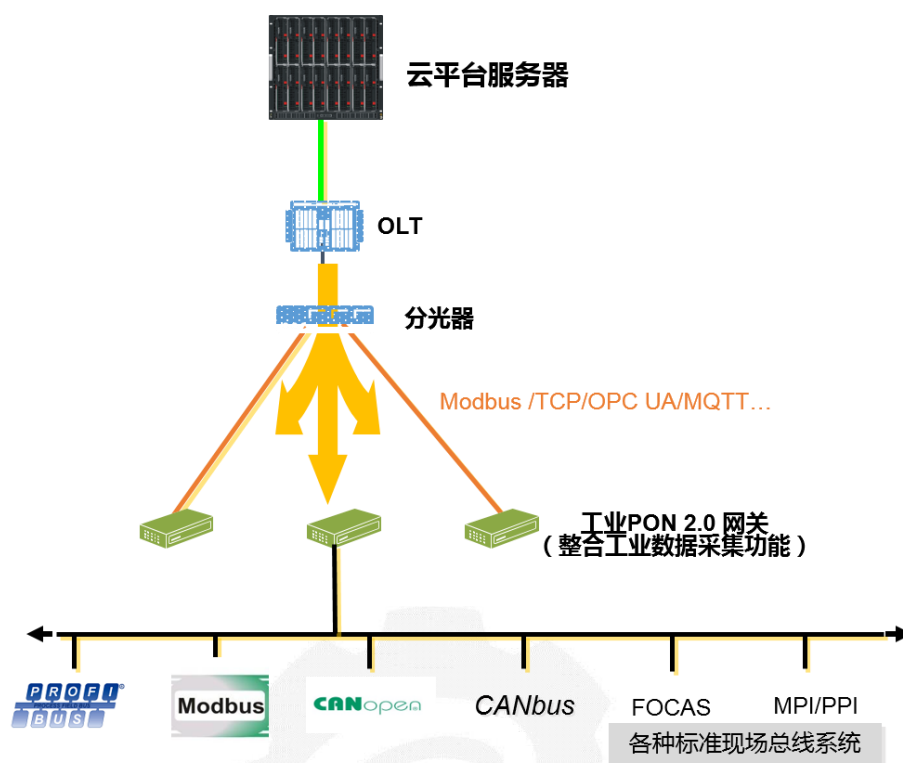


图 1.3 工业 PON2.0 架构图

1.2.2. 工业 PON 2.0 在工业互联网体系中的位置

工业 PON 2.0 设备在工业互联网体系架构中处于车间级网络位置，通过工业级接入网关（ONU）设备实现光网络到设备层的连接，通过光分配网络实现工业设备数据、生产数据等到汇聚网关（OLT）的集中，最终通过汇聚网关（OLT）与企业 IT 网络的对接，从而实现企业 OT 和 IT 融合组网及工业数据的可靠有效传输。

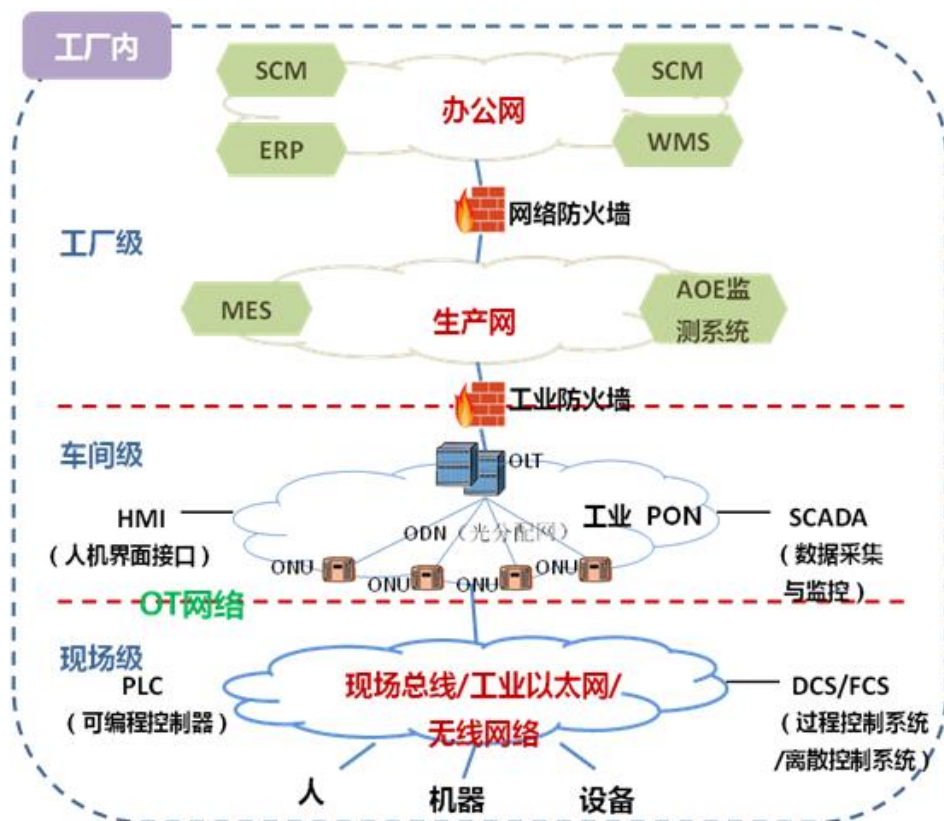


图 1.4 工业 PON2.0 在工业互联网体系中的位置

1.2.3. 工业 PON 2.0 与工业 PON 1.0 之间的关系

工业 PON2.0 相比工业 PON1.0，在系统组成、功能实现等方面有了长足的改进和提高，更加契合广大制造业企业对于工厂内有线网络的应用需求。

但是，上述两者之间并不是产品取代和替换的关系，由于工业行业众多，应用场景和功能实现需求繁多，同时企业规模和信息化需求存在较大差异，目前并没有一种单独的工业 PON 解决方案可以满足所有工业企业的需求。因此，工业 PON2.0 和工业 PON1.0 的产品，在未来很长一段时期内，都是共存和按需部署的关系。

第二章 集成数据采集功能的工业 PON 2.0 网关

2.1 背景介绍

当前，工业 PON 接入网关（ONU）设备与现有的工业数据采集网关为独立的两套系统，造成数据采集和网络承载分离。同时，由于工业现场总线的国际标准繁多，协议互不兼容，工业领域缺乏一套能够兼容、转换多种协议和数据建模分析的综合性解决方案，无法低成本灵活实现对传统工业设备的信息化改造。

因此，有必要研究一套基于开放式平台的，支持多种工业协议，同时与工厂内网络系统实现有效整合的工业数据采集和转换系统。

工业 PON2.0 系统中，接入网关（ONU）作为开放平台，配置多种嵌入式数据采集功能，包括 OPC 数据采集、数据处理等，支持网关与 PLC、生产管理系统、生产装备的通信。同时，ONU 支持集成开源或者客户开定制的工业应用，进行个性化工业数据采集和转换处理，并与工业云平台进行交互。

2.2 需求分析

集成工业数据采集网关的工业 PON2.0 ONU 应用在工业场景，需要解决以下问题：

i. 连接性需求

连接是工业网关的基础。所连接物理对象的多样性及应用场景的多样性，需要工业网关具备丰富的连接功能，如各种网络接口、网络协议、网络拓扑、网络部署与配置、网络管理与维护功能。

ii. 多种工业协议互兼容

需要提供对多种工业协议的支持和兼容，工业软硬件系统本身具有较强的封闭性和复杂性，不同设备或系统的数据格式、接口协议都不相同，甚至同一设备同一型号的不同时间出厂的产品所包含的字段数量与名称也会有所差异，数据无法相互共享。工业数据采集领域存在 Profibus、Modbus、CAN、LonWorks、HART、Profinet、EthernetIP、

Modbus/TCP、EtherCAT 等多种工业协议标准，各种协议标准不统一。

iii. 实时性需求

生产线的高速运转、精密生产和运动控制等场景对数据采集的实时性要求不断提高，重要信息需要实时采集和上传，以满足生产过程的实时监控需求。

工业系统不仅要求数据采集速度快，而且要求数据处理速度快，特别是针对传感器产生的海量时间序列数据，数据写入速度达到了百万数据点/秒-千万数据点/秒。而且数据采集模块还要将实时数据通过有线、无线网络实时传送至系统集成模块，实现企业业务决策的实时性，也就是工业 4.0 所强调的基于“纵向、横向、端到端”信息集成的快速反应。

2.3 技术要求

基于前文的需求分析，工业 PON 数据采集网关需具备如下能力：工业级的环境适应能力、强大的工业接口接入能力、多种工业协议处理、本地智能的网关设备，同时还要支持传统的路由器功能，用以满足更多的应用场景，提供灵活、智能化的管理手段。

- i. 工业级的环境适应能力，可在恶劣的工业环境下长期稳定工作，具备自然散热式，宽温域、低功耗、静音设计、高防护等级等特点，并应符合工业相关标准。
- ii. 强大的工业接口接入能力。支持多种工业标准的物理接口，如 GE/FE/RS232/RS485/DI/DO/CAN 等。
- iii. 开放平台能力，设备支持集成开源或者客户开发的应用，以扩展设备功能。即工业数采网关设备作为一个开放平台，支持客户开发和部署自己的应用。
- iv. 具备二次开发能力，用户可以根据场景选择对应的款型，开发部署自己的应用，采集终端数据进行处理，并与业务平台进行交互。
- v. 具备对下(自动化系统)协议解析能力(通讯协议：Modbus、PPI、MPI、CNC 等；总线协议：CAN、Profibus 等；工业无线协议：WirelessHart、433 等)。

- vi. 通过工业 PON 具备对上(工业云平台或应用系统)的协议对接能力和网络通讯能力。

2.4 系统架构解析

集成数据采集功能的工业 PON2.0 网关，其特征为，硬件层面平台化和模块化，提供丰富的物理接口支持；软件层面采用开放式平台架构，业务功能容器化和 APP 化，按照业务功能将软件划分为多个业务 APP，实现快速迭代和部署，并通过容器技术，将业务软件与操作系统隔离，提升系统的安全性。

开放平台的架构如下：

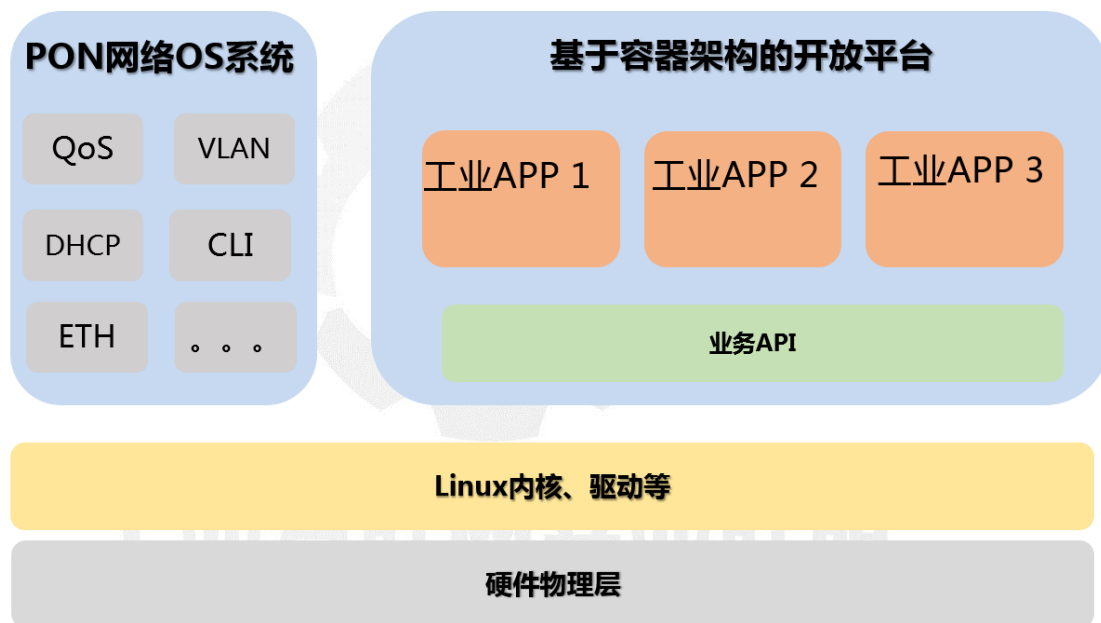


图 2.1 开放平台架构示意图

软件架构抽象为双系统：PON 网络 OS 系统、数据采集功能的容器系统。双系统运行在同一个 Linux 内核上，如上图所示。

PON 网络 OS 系统实现工业 PON 设备管理、维护，各种网络服务协议支持，实现路由器网关功能；容器系统提供轻量级的虚拟化，根据客户需求运行第三方工业应用程序。

PON 网络 OS 系统一般基于 PON 设备厂商成熟稳定的 PON OS 系统平台，可以实现 PON 层面的所有网络业务功能，并可以根据工业场景的应用需求，进行网络功能定制和扩展。

容器技术，例如 Linux Container（简称 LXC），是一种内核轻量级的操作系

统层虚拟化技术，主要由 Namespace 和 Cgroup 两大机制来保证实现。Namespace 提供隔离机制，保证容器独立运行；Cgroup 就负责资源管理控制作用，比如进程组使用 CPU、内存的限制，进程组的优先级控制，进程组的挂起和恢复等。

工业 PON2.0 网关，基于容器技术的开放平台，运营商和设备厂商提供完善的开发工具，实现第三方工业应用 APP 的开发以及在容器系统中的运行，具备业务功能快速开发和迭代的能力。

2.5 关键技术

2.5.1. 工业现场协议转换和兼容

工业现场常用的总线协议包括 Profinet、Profibus、CClink、EthernetIP、Modbus、FOCAS 等，需要研究实现协议兼容技术（协议转换、数据转换、地址空间重映射等），通过在工业 PON 网络中实现协议兼容，将不同的网络和通信协议统一映射成统一协议，各种网络和协议之间通过统一协议实现信息的交互，实现设备和信息系统的互联互通。

工业 PON2.0 数据采集网关终端，支持内置 OPC-UA 服务器，MQTT client/server,支持 HTTP 通信及 web server，解析现场总线及实时以太网协议实现数据采集；最终实现通过协议转换实现异构通信协议到统一协议的映射，实现工业现场通信协议的统一，降低设备组网的难度，实现访问统一性。

工业现场设备种类繁多，接口和总线协议不统一，多数工业现场设备是非标总线接口和非标总线协议。为了实现设备的互联互通，实现设备数据采集，通过协议兼容将不同的网络和通信协议统一映射成统一协议，各种网络和协议之间通过统一协议实现信息的交互。协议兼容的过程就是讲异种通信协议通过协议转换、数据转换、地址空间重映射等技术手段转换成统一协议。工业现场常用的总线协议包括 Profinet、Profibus、CClink、EthernetIP、Modbus、FOCAS 等，后续可以考虑以统一协议实现承载（OPC-UA 协议或者 FDT 等协议）。

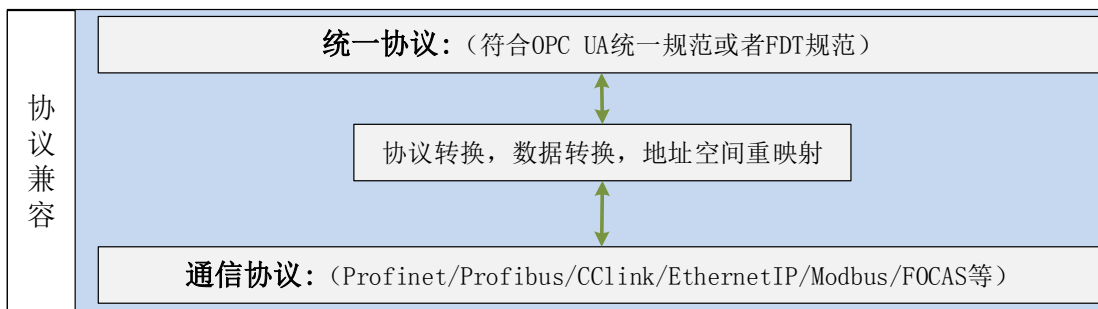


图 2.2 工业现场协议兼容性

协议兼容技术由协议转换、数据转换、地址空间重映射等技术组成，可以支持工业现场常用的总线协议，适应各种工业设备信息传送和交互以及各种专用控制系统应用场合的要求。

协议兼容技术具有以下优点：通过协议转换实现了通信协议到统一协议的映射，实现了工业现场通信协议的统一，降低了设备组网的难度，实现了访问的统一性。

采用 FDT/ DTM 技术，通过主机系统访问设备时，类似于现在通过操作系统访问办公室的打印机的原理，需要通过在操作系统(FDT)上安装打印机驱动(DTM)的方式 进行访问，这种访问不受打印机接口(各种现场总线通讯协议)的限制。FDT 的核心特点是它不依赖于任何通讯协议以及主机系统或现场设备的软件环境。FDT 使得主机系统通过协议来访问设备时，对主机，协议和设备的类型都没有限制。

通过 OPC UA 提供了一致、完整的地址空间和服务模型，解决了过去同一系统的信息不能以统一方式被访问的问题。较高的通信性能，统一协议基于 OPC UA 消息的编码格式可以是 XML 文本格式或二进制格式，也可使用多种传输协议进行传输，比如：TCP 和通过 HTTP 的网络服务。较高的可靠性、冗余性，统一协议基于 OPC UA 的调试的超时设置，错误发现和自动纠正等特征，同时基于标准冗余模型的应用也使得来自不同厂商的软件应用可以彼此兼容。较高的安全性，统一协议基于 OPC UA 的标准安全模型，应用程序之间传递消息的底层通信技术提供了加密功能和标记技术，保证了消息的完整性，也防止信息的泄漏。平台无关性，基于 Internet 的 WebService 服务架构 (SOA) 和非常灵活的数据交换系统，保障软件的开发不依靠和局限于任何特定的操作平台。

参考工业互联网体系架构：协议兼容技术在工业互联网体系架构中处于产业

数据采集交换位置，通过总线协议将设备数据、生产信息和环境数据等采集，然后通过统一协议为数据集成处理提供接口，通过协议兼容技术的应用，实现设备和信息系统的互联互通。

2.5.2. 开放软件平台技术

工业 PON2.0 提供开放的软硬件平台架构，通过容器和应用分离技术赋能多厂商协同实现工业协议转换，实现工业现场协议转换功能，完成异构通信协议到统一协议的映射

接入网关(ONU)软件由平台软件和应用软件组成。平台软件支持容器功能和应用软件管理功能。平台容器提供软件支撑环境，应用软件（插件）实现协议转换及其它工业数据处理及分析功能，支持多个厂家协同实现特定协议到统一协议的转换或多种协议互转。

开放软件平台可为第三方应用提供运行空间和所需的运行资源，并提供统一的 API 接口，屏蔽不同硬件的差异，保证第三方应用的跨硬件可用性。

开放软件平台的主要实现技术为容器技术，可提供一个尽可能接近标准 Linux 安装环境但不需要单独内核，相比单独虚拟机开销极低，同时又能提供容器(及容器内的应用)与主机之间的隔离、进程隔离、资源约束，约束运营于容器中的第三方应用的资源使用情况，监控其异常资源占用情况，提升开放平台的高可靠性。

第三章 网络可用性保障

为满足工业应用场景中的高业务可用性要求，工业 PON2.0 系统在 ODN 保护倒换，以及流氓 ONU 检测隔离等方面进行了针对性功能增强和提升。

3.1 保护倒换

PON 技术具备多种等级的保护倒换方案，可以在一路 ODN 网络或者 PON 设备端口发生故障导致网络中断时，快速进行主备链路切换和业务恢复，保证工

业场景对于系统高可靠性的要求。

工业场景中，PON 光链路保护的典型解决方案可以采用 TYPE D 方式（OLT 双 PON 口，ONU 双 PON 口，主干光纤、光分路器和配线光纤均双路冗余）。具体实现方式包括 OLT 同一 PON 板内同一 PON MAC 芯片（一个 PON MAC 芯片支持多个 PON 口的情况下）、同一 PON 板内不同 PON MAC 芯片和 PON 板间的 PON 口保护等三种。这种方式支持不同的 ONU 分别工作于 OLT 的主用和备用 PON 接口。

对于 PON 的局端 OLT 设备，主、备用的 OLT PON 端口均处于工作状态。OLT 应保证主用 PON 端口的业务信息能够同步备份到备用 PON 端口，使得保护倒换过程中，备用 PON 端口能维持 ONU 的业务属性不变；

对于 ODN 网络中的光分路器，采用 2 个 1:N 光分路器，可以满足 TYPE D 保护的部署要求；

对于 PON 的终端 ONU 设备，如果需要提供对 TYPE D 保护的支持，ONU 需要配备 2 个独立的 PON 口（分别包含 PON MAC 芯片和光模块等）且分别注册到 OLT 的两个 PON 接口上。ONU 的两个 PON 口工作于一主一备状态（热备份）。

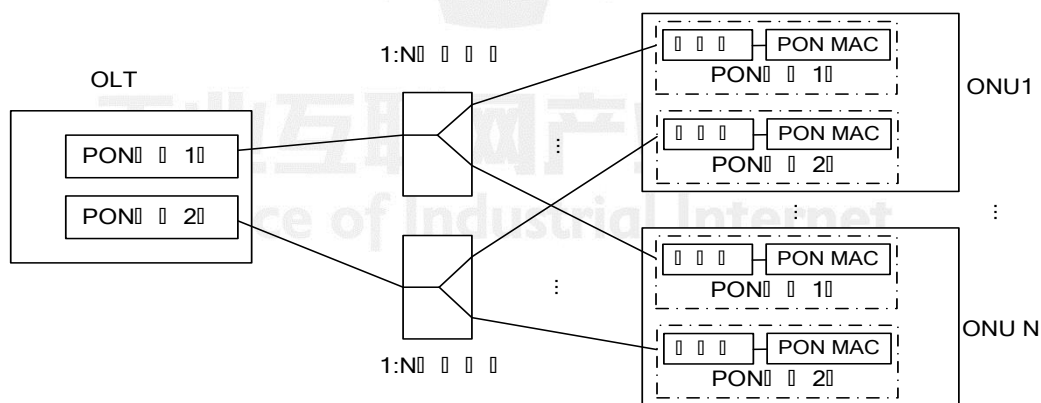


图 3.1 TYPE D 保护倒换示意图

在工业场景中，基于非等分分光器架构的手拉手保护倒换方式，也是一种可选的技术方案，可以满足大部分场景的可靠性需求。

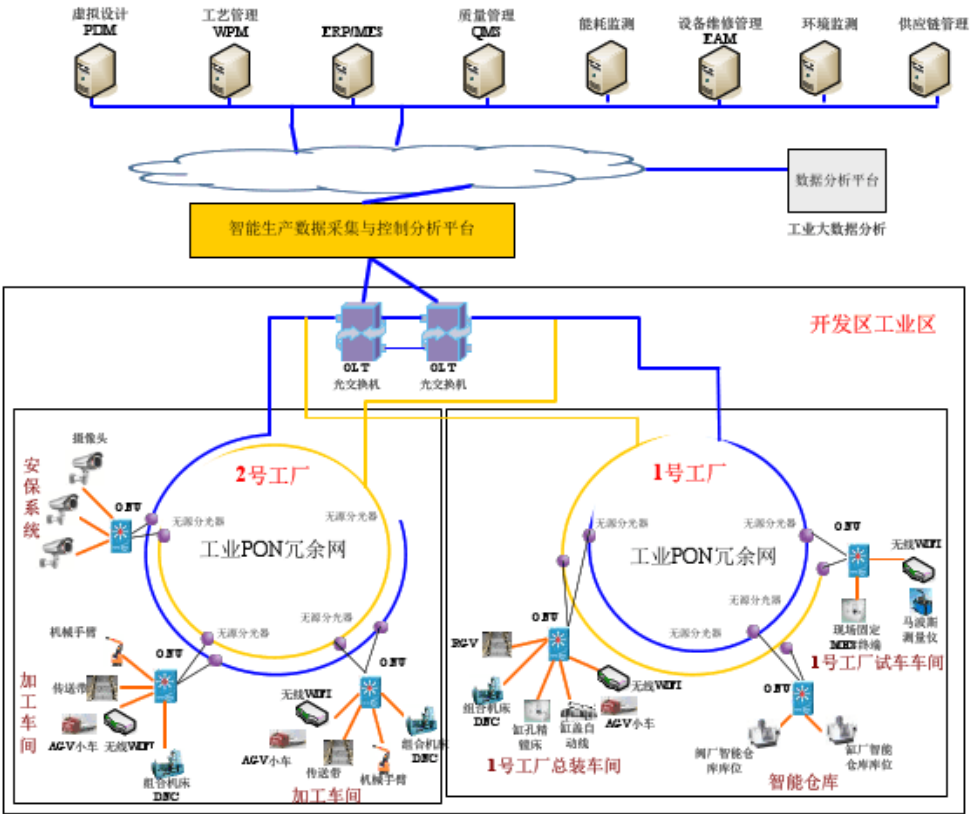


图 3.2 典型的工业 PON 手拉手双冗余保护倒换方案

在工业应用中，一些应用场景要求更高性能的抗单点故障能力，这种情况下，通过引入一些新技术，例如基于双波长组\四纤树的技术，可以提供达到 5 个 9 或更高的运行可靠性，多达三点故障时仍不影响业务正常运行。一种典型的双波长组\四纤树组网方案图如下所示：

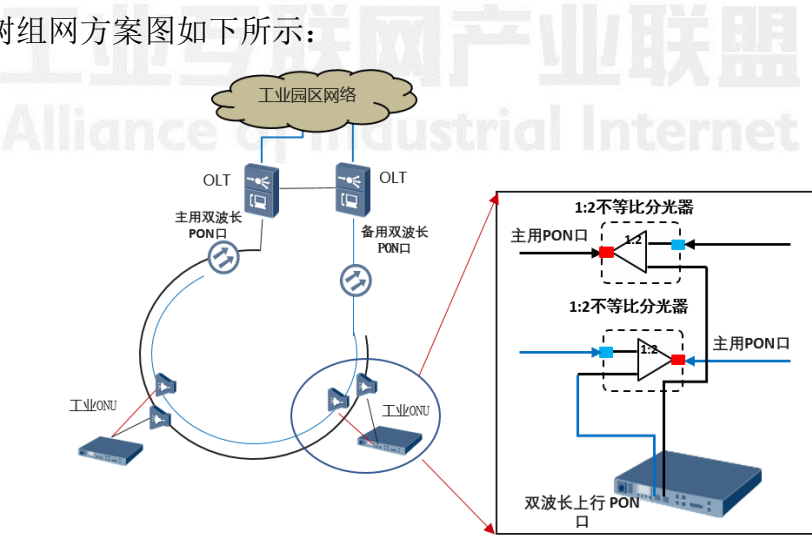


图 3.3 工业双波长 PON 手拉手保护的链型组网示意图

3.2 流氓 ONU 检测与隔离

流氓 ONU 是指光发射机发生故障的 ONU，这种情况下，ONU 的上行信号不遵从 PON 系统中预先分配的时隙进行发送，干扰其他同一网络中的 ONU 设备，导致整个 PON 系统的上行数据传输发生故障。

为减少流氓 ONU 对 PON 网络的影响，需要从几方面入手，首先是提升 ONU 自身在恶劣环境下防护能力，增加流氓 ONU 自律功能，同时在故障发生时通过冗余设计保证业务不中断，并利用大数据提供故障预判能力。

i. 增强 ONU 自律功能

ONU 实时检测光模块发光状态，与 MAC 芯片发光使能信号进行对比，异常情况下自动关闭光器件发光电源。进一步增强容错功能。

ii. ONU 关键器件 IP68 防水等级

在部分恶劣情况下，如 ONU 进水，或者水汽侵蚀，导致硬件故障触发流氓 ONU，对关键器件和模块实施 IP68 防水等级，可以有效减少流氓 ONU 故障触发概率。

iii. 多路径绑定

双波长组\四纤树实现流量以 4 个独立路径上行到 1 或 4 个 OLT，当出现 PON 口流氓 ONU 故障时业务切换到其它的正常路径，保证业务高可用性。

iv. OLT 高效检测隔离

针对各种流氓 ONU 故障模型优化流氓 ONU 检测功能，支持长发光检测，随机发光检测，使出现故障快速检测和排查。

v. AI+大数据分析预判与检测

基于 AI+大数据分析预判与检测随机发光流氓 ONU，采集 ONU 光模块关键信息，线路误码数据，状态变化事件等实时状态信息，通过大数据或机器学习等方法，分析终端行为模式和数据相关性，实现 ONU 故障预判及流氓 ONU 辅助检测功能。

第四章 工业 PON 2.0 智能管理平台

4.1 技术现状和背景介绍

工业互联网由于应用场景的多样性，网络类型众多（如工业控制网络、办公网络、监控网络等），业务实时性要求差异很大，网络覆盖的范围也各不相同，同时随着企业柔性制造和个性化定制生产阶段的到来，工业互联网对灵活组网、接入带宽和时延要求更加多样化。

另一方面，随着网络规模和复杂度的持续增加，网络运维的复杂度也在不断增加，急需通过自动化措施来降低对运维人员的技能要求，降低 OPEX。

为满足企业灵活多变的网络诉求，帮组企业和行业客户快速集成行业应用、降低集成门槛、节约运维支出，需要构建一套完整的解决方案来支撑其诉求，可以从以下几个方面来重点构建工业 PON2.0 智能管理平台的能力：

表 4.1 构建工业 PON 2.0 智能管理平台的能力重点

需求	需求描述	面临挑战
网络性能感知	实时检测网络的运行性能、健康状态（如网络带宽、时延、误码丢包等）	1、要对网络 E2E 的采集数据，包括 PON 网络、OLT 设备等； 2、要感知网络拓扑结构，链接关系； 3、要实时的感知网络异常、故障事件。
网络数据实时综合分析	对实时采集的全网性能数据和业务体验数据进行快速实时的综合分析处理	1、需要采用大规模高性能并发计算处理的大数据平台和技术，对采集的网络性能数据和业务体验数据进行快速实时的分析处理。
开放的工业互联网管理平台	面向工业行业应用提供开放平台，支持二次开发能力，加快设备、应用集成，新业务快速上线	1、提供丰富的 API 开放接口，包括通信能力 API、网络能力 API、用户数据 API 等； 2、提供终端管理平台开放的能力，为最终客户提供接入入口以及操作入口； 3、开放 SDK，开发者只需要进行简单的拖拽，即可实现相应的业务逻辑。

4.2 技术方案

管理平台包含两部分：工业 PON 网络管理平台和工业数采网关管理平台。

工业 PON 网络管理平台支持 OLT 和 PON 网络端到端数据采集；支持海量数据的并发计算和分析处理，支持主动的故障分析和预测，支持故障场景的 KPI 回放。为工业互联应用场景，提供云化网络管理、控制和分析优化的全流程功能，为企业提供高质量、高体验的网络连接能力。

工业数采网关管理平台面向工业互联场景，构建具备平台开放、云化弹性部署的统一管理平台，为企业提供一套围绕工业终端设备统一接入、海量数据采集分析、行业应用快速上线的整体解决方案。

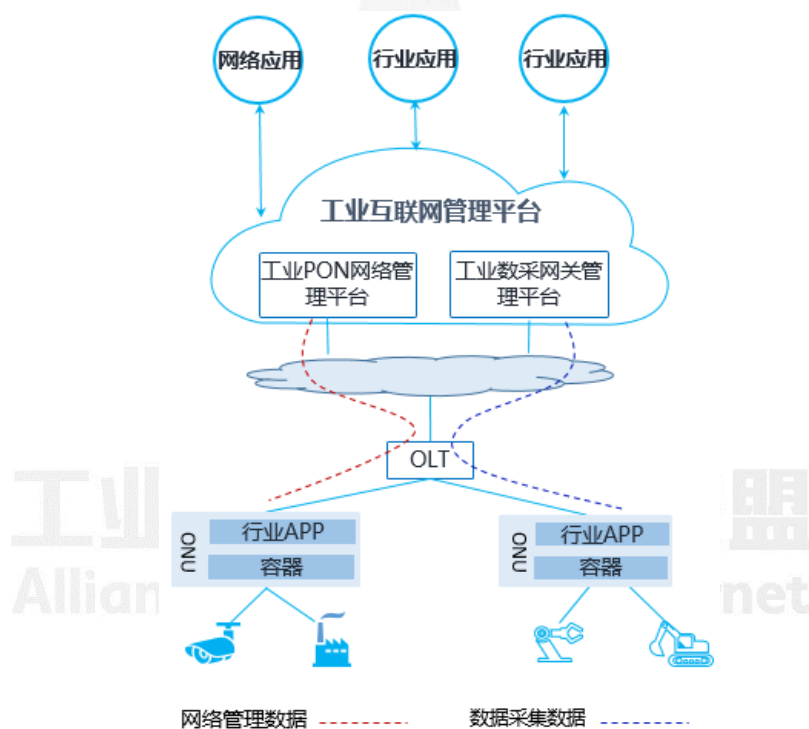


图 4.1 工业 PON2.0 智能网络管理示意图

工业 PON2.0 智能网络管理解决方案特点：

- 工业 PON 网络端到端的数据采集

支持端到端网络数据采集，包括 PON 网络、OLT 设备等，以便管理平台能实时感知网络异常、故障事件，实时感知网络拓扑、连接关系变化：

- 1) 支持边缘网关网络数据的采集分析，如网关配置和运行状态，流表信息等采集；
- 2) 支持 OLT/PON 网络数据采集分析，包括 OLT 网元运行状态，上行口流

量和误码丢包，PON 端口流量和误码丢包，PON 口和 ONU 的发送接收光功率，误码丢包等信息；

3) 支持采集 ONU 和 PON 口拓扑，OLT 上行链路拓扑信息采集；

- **故障根因分析和预测的 AI 算法**

1) 利用 AI 算法实时智能感知网络故障，捕获异常事件，快速准确的分析故障原因；

2) 预测未来的流量变化趋势；

3) 预测 PON 网络的故障和趋势，如光模块故障趋势；

- **历史故障场景 KPI 回放**

在进行故障分析和处理时，可以回放过去故障时刻的网络拓扑和 KPI 信息，包括网关运行状态，ONU 上下行流量，光模块发射接收光功率，BIP/FEC 误码；PON 端口上下行流量，光模块发射接收光功率，BIP/FEC 误码；OLT 上行端口流量和丢包等。

- **工业互联网开放平台，行业应用快速集成**

管理平台为用户提供应用管理服务，汇聚上下游合作伙伴，形成有竞争力的端到端解决方案，使得用户可以方便的选择满足其需要的各个组件，形成满足其需要的最终方案。

工业互联网产业联盟
Alliance of Industrial Internet

4.3 系统架构解析

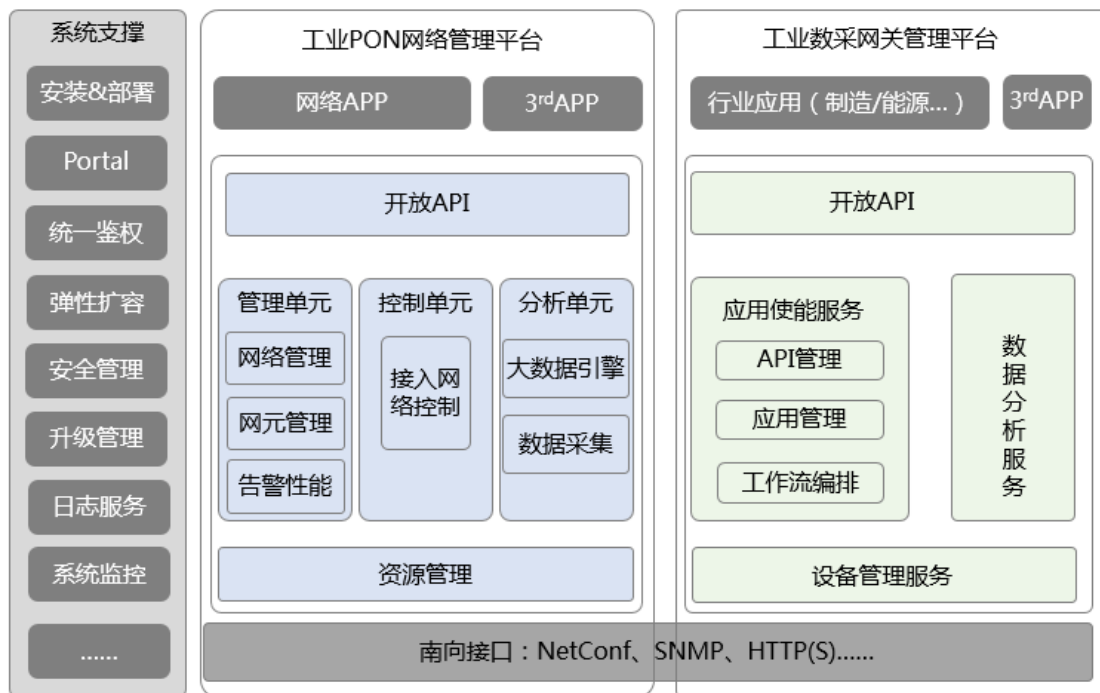


图 4.2 管理平台架构图

工业 PON 管理平台主要包含以下功能模块：

- 系统支撑：提供基本功能和公共功能，包括系统监控、日志、安装&部署、升级、高可靠性、安全、license、Portal 以及用户管理等。
- 管理单元：该模块支持网元，拓扑和服务管理。即服务发现和提供，网络拓扑发现，业务流管理等功能。
- 控制单元：提供网络控制能力，实现相关控制配置的下发，如 ONU 认证等。
- 分析单元：该模块提供网络状态收集，分析，模拟和预测功能。此外，它还可以通过 360 度网络视图协助网络运行，以及模拟和预测统计等。
- 工业云平台设备管理服务：提供统一的设备建模，发放，认证，鉴权，设备升级，配置等。
- 应用使能服务：提供业务规则引擎，API 管理，工作流编排等服务，提供应用管理服务，包括应用包的安装、卸载、更新管理等操作。
- 数据分析服务：平台提供的数据分析框架，支持数据存储、分析以及生成数据报表等特性，为第三方应用提供分析服务，满足多个行业数

据分析诉求。

- 能力开放层:包括能力开放的 API 网关,以及行业应用开发所需能力,包括开发套件, demo, 指导文档等。
- 南向接口:对接设备、网关,支持 SNMP/Netconf 等多种南向协议。

4.4 关键技术

- 工业 PON 网络端到端拓扑学习

网络拓扑是一个基础能力,网络运维都会依赖网络拓扑。PON 网络是一种点到多点(P2MP)结构的无源光网络,由光线路终端 OLT(Optical Line Terminal)、光网络单元 ONU (Optical Network Unit)和无源分光器 POS(Passive Optical Splitter)组成。PON 光网络的特点:一是无源,二是覆盖范围广,所以决定了 PON 光网络的运维较为复杂,详细准确的光纤布放位置和分光节点分布,拓扑连接关系对运维而言非常重要。

由于 PON 网络是无源网络,无法采集分光器的性能指标,因此无法直接通过数据来获取拓扑关系,管理平台通过采集 ONU 光模块的收光、发光、电压、电流、温度、误码等指标,然后通过人工智能等技术分析这些指标特征来计算 PON 光路拓扑。

- PON 光路故障诊断:

PON 光路故障主要包括 OLT PON 板到 ONU 上行口这一段的故障,比如主干光纤故障、分布光纤故障、ONU 上行 PON 口光衰\误码\弱光等问题。光路故障占比跟 ODN 网络建设模式(分光级数/连接点数)、设备质量(分光器、法兰盘、光纤等)、ODN 部件环境、建设施工质量相关。因 PON 网络自身的特点,加之网络场景复杂,导致有的场景故障定位时间较长,对维护人员技能要求较高,PON 光路故障诊断需从以下方面考虑,来提升故障定位效率及降低对人员的技能要求:

- 1) ODN 拓扑自动学习,避免过度依赖 ODN 资管系统,资管系统信息不一定是准确的。
- 2) 远程故障定界、定位及根因指示,方便现场人员快速找到问题点并

直接处理，减少定位处理时间及对运维人员的专业技能要求。

- 3) 光器件、光路劣化预警，通过预判主动运维，减少偶发硬件故障。

第五章 典型部署应用场景

5.1 离散制造行业应用场景

5.1.1. 场景特点

离散制造业企业生产的产品种类不同，各企业所关心的数据类型也不尽相同。一般离散制造企业车间生产过程中的数据通常包括了物料、加工设备、工装、加工过程、质量等等，涉及了制造执行中的各个环节。典型离散制造企业关注的工业数据采集信息如下表所示：

表 5.1 典型离散制造企业关注的工业数据采集信息内容

信息类别	采集内容	所属类别	采集要求
产品加工信息	产品在车间的加工完成状况	动态信息	可以按一定的时间间隔采集
物料信息	包括物料号、物料名称、物料尺寸、材料牌号、加工工艺等	静态信息,可建立静态物料信息表,通过物料号查询信息,生产现场需要采集的是物料号	伴随物料入库而改变
工人信息	包括工人工号、姓名、工种、班号等与工人相关的信息	静态信息,可建立静态工人信息表,通过工人工号查询信息,生产现场需要采集的是工人工号	一次性录入
设备信息	包括设备编号、名称、大类、型号、性能、设备所在车间等	静态信息,可建立静态设备信息表,通过设备编号查询信息,生产现场需要采集的是设备编号	一次性录入
产品质量信息	生产产品的完成质量信息	动态信息	针对生产结果进行连续采集

与流程制造业相比，离散制造车间管理过程更为复杂：生产计划难以预测，产品工艺流程差异大，设备自动化水平参差不齐，现场单据多，作业繁琐，不易

掌控等。其工业数据采集往往存在如下特点：

i. 信息不能有效与上层管理系统进行集成

这种隔断造成生产过程不透明，生产进度、在制品状况、设备利用状况等关键数据不能到达管理层，增加了过程管理和生产决策的复杂性。

ii. 制造过程信息的实时性低

作业任务随市场需求的频繁调整变化，不利于制造过程信息实时采集，再加上制造过程信息交互速度和效率低下，造成企业对市场变化的响应速度慢。

iii. 企业设计层和管理层到车间层信息采集困难

一方面车间设备层的重要信息难于采集和上传，无法达到对生产过程的监控。另一方面上层系统难以深入到车间和设备层，从而影响管理信息系统的准确运行，使动态信息成为脱离实际的无源之水难于及时下达，从而使整个企业信息化难以实现更大效益。

上述特点反映了离散制造迫切需要对制造过程进行工业数据采集，能将车间的各种离散数据完整实时的采集到车间数据库中，并进行初步分析处理，将车间生产的信息实时准确的反馈到车间的管理层，加强管理人员对车间生产现场的监控和管理，并为企业管理人员制定生产计划提供依据。

5.1.2. 案例介绍

企业简介

某汽车电子零件制造企业，成立于 1999 年。公司基于在电磁元器件制造和技术方面的优势，凭借专业的生产设备和试验设备，开发和制造汽车电子零部件。目前公司生产品种涵盖各类车载电磁线圈和电磁阀、车用传感器、电子油门踏板等，并与国内外著名系统集成商、发动机制造商、汽车制造商建立了紧密的合作关系。

客户需求

核心目标为建立车间信息高速；实现车间中各类加工设备和数据采集、MES 等信息系统有机连接和数据采集；实现加工车间、装配车间无线设备、物联网设备统一采用全光网络承载；从而保障车间提高设备利用率，减少故障和停机时间，通过数据采集和分析，对生产过程进行监控，提升良品率，节省统计生产数据的时间，提高处理问题的效率。为管理者提供更加方便快捷地监管系统，及时了解掌握车间生产的执行情况及设备的运行情况。

解决方案

经过技术比较，企业选择采用基于工业 PON 2.0 的技术方案，组建智慧制造车间高速网络和数据采集系统：

- 工业汇聚网关 OLT 通过以太网接口上联 SCADA 系统，通过 PON 口接口接入 ONU 设备，实现数控机床、拧紧机等工业设备与上层系统的联通。
- ODN 系统利用现布放的光纤，在车间通信柜中增加分光器增加设备尾纤实现。
- ONU 网络安装车间通信柜中，利用现有五类线布线接入到各种数控机床、拧紧机以及工业设备。在长期实践中为了解决制造业工厂设备接口不统一，协议不统一带来的组网难问题，采用工业 PON 2.0 专用于工业数据采集应用的多业务智能网关系统，该网关集成有 RS232/485, 以太网、IO 点及模拟量等多种输入资源，通过这些资源实现对工业现场设备各种总线的接入和数据采集，该智能网关将采集到的信号进行协议转换、数据转换和地址空间映射，统一转换成 OPC-UA 协议，通过工业 PON 系统进行传输，实现多业务数据采集和传输。通过该智能网关可以实现生产线单个设备或者一组设备的智能化改造，将车间的生产单元改造成为智能生产单元。智能生产单元可以将生产工艺参数、设备运行状态、能源信息、环境信息以信息树的形式将数据传递给生产线上的其他单元；
- 实现了车间生产全基础数据的采集，汇聚到车间 SCADA 系统为 MES 系统提供数据支撑。车间工业物联网覆盖了生产物料信息采集，设备数据采集、生产工艺信息采集、人员信息采集、产品品质信息采集和车间工况

信息采集等。本项目通过工业物联网实现设备的信息采集，为 MES 系统提供设备的实时信息，同时为 MES 系统提供设备管理和工艺下发的链路；

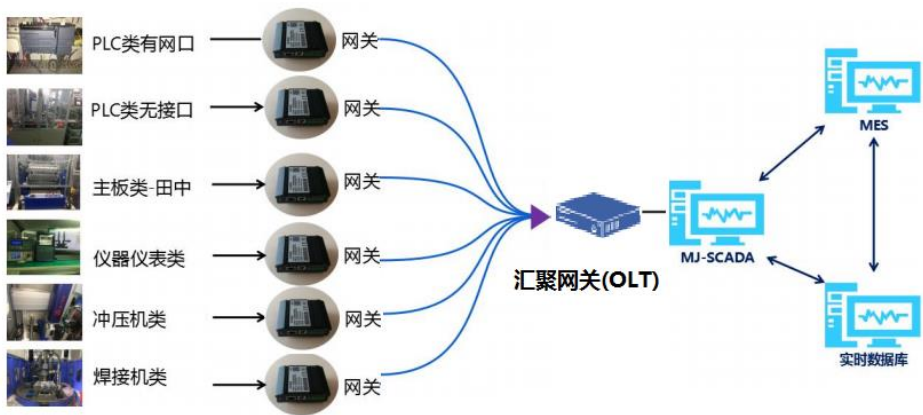


图 5.1 工业 PON 解决方案组网架构

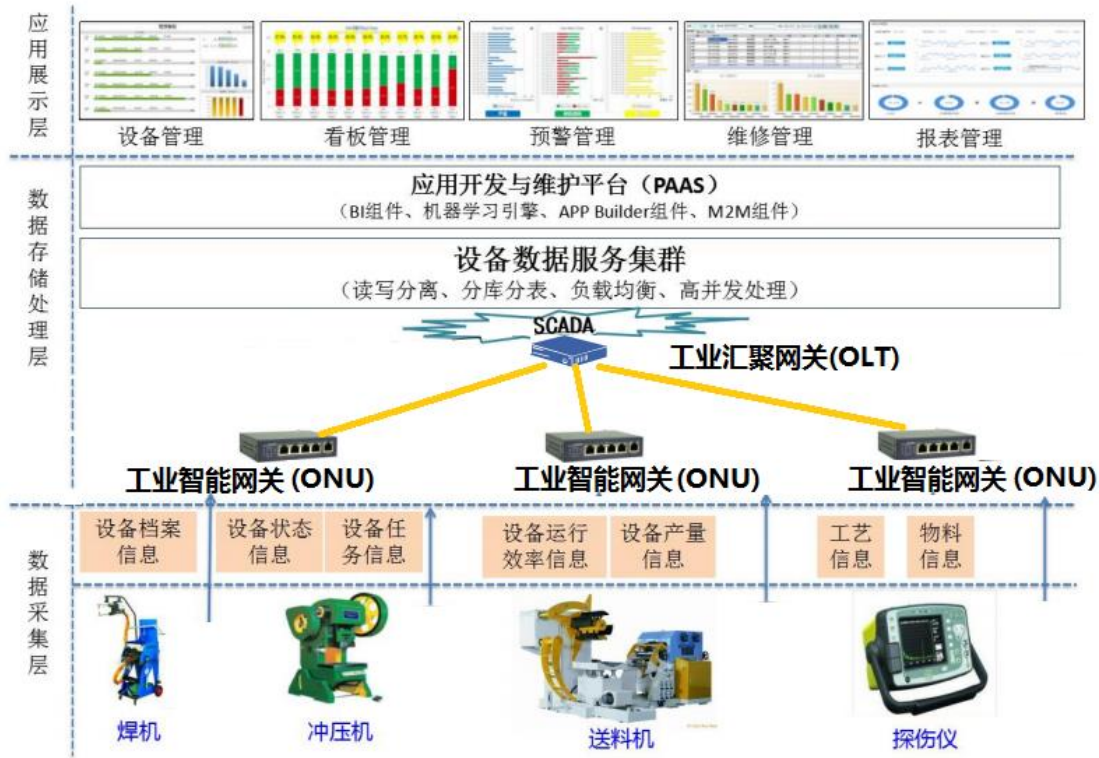


图 5.2 工业 PON 解决方案系统架构

客户价值

- 实现了网络扁平化和大带宽、多业务承载

全光纤组网，采用二层扁平架构，实现弹性扩容。支持多业务接口，满足工业互联网生产控制、数据采集、无线专网承载、行政办公各种应用场景。实现低时延、大流量，满足承载工业控制、数据采集、无线承载等各种业务工厂实际应用需求。

- **实现了现场设备的数据采集和分析**

通过在工业智能网关中内置数据采集模块，能够低成本实现异构网络的联通和车间生产全基础数据的采集，客户通过监控和分析生产数据，实现了产线良品率的大幅提升，显著提高利润；

- **提高了网络稳定性和安全性**

抗电磁干扰能力强，采用无源设备，组网简单，提高了网络稳定性。通过双路光纤保护、双机热备、工业级 ONU 满足了厂区安全性要求。

案例先进性

- **全光纤云架构**

工业 PON 系统采用全光纤网络，基于先进成熟的 PON 技术，一根光纤实现全覆盖，相比交换机减少数据交换转发数，抗干扰、易维护，更适合生产现场的要求。工业 PON 系统可实现低时延下行<1ms 上行<1.5ms、长时间运行无丢包，满足制造行业应用需求。

- **提供工业互联网全业务支撑**

工业 PON 系统采用一根光纤就可以融合数据、串口、语音、视频所有业务，对于工业现场设备，采用工业 PON 2.0 专用于工业数据采集应用的多业务智能网关实现多种工业现场协议的转换，实现了工业数据的采集和分析；

- **为复杂制造环境量身定制**

工业 PON 系统 ODN 为无源系统、具有抗强电磁、强振动、寿命长、安装方便、占用空间少，运维方便的特点。

5.2 不同网络规模的部署应用场景及案例展示

工业 PON 解决方案按网络规模（而非物理尺寸）大致可分为三类：

- 小型组网，主要为同一建筑物内的同一套园区网络，例如同一楼宇内的同一功能组网；
- 中型组网，主要为多个建筑内的同一套园区网络；例如同一园区内多个楼宇的同一功能组网；
- 大型组网，主要为多个建筑内的多套园区网络；例如同一园区内多个楼宇的多个不同功能的组网。

以下按三类组网分别展示企业案例：

小型组网案例：某综合管廊 PON 组网项目

A. 项目方案：

在此综合管廊项目中，由于环境限制和健壮性&可靠性要求，需要采用工业 PON 实现光纤统一回传，如下：



图 5.3 组网项目整体情况

B. 方案特点：

由于环境较差，又要保证单点或多点掉电/故障时其它节点仍能正常工作，传统工业交换机方案无法满足全部要求，只能采用深度优化后的工业 PON 方案来实施。同时，出于对可靠性的要求，工业 PON 本身也提供了高可靠性的配置，即 ONU 采用双上行双归的方案，实现了路径与根设备的 1+1 备份。如下：

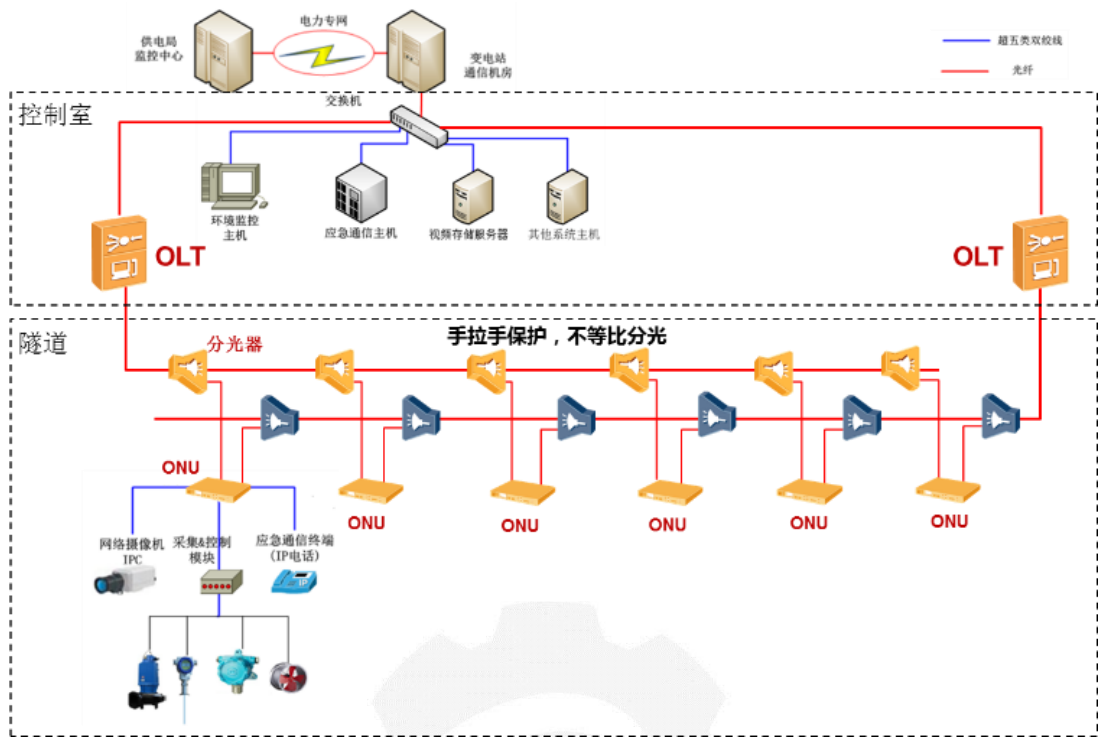


图 5.4 项目组网方案

其中，工业 PON 呈长链状组网，并采用了深度优化的不等比分光和手拉手保护。整个项目已投入实际运行。

C. 方案价值：

这一案例充分说明在长链组网中，工业 PON 解决方案相对于传统工业交换机方案具备明显的差异化优势，提升了健壮性。

中型组网案例：某产业园生产车间升级项目

A. 项目方案：

在此项目上，希望利用工业 PON 技术、光纤下沉到车间，利用光纤对电磁干扰的天然免疫性，在制造电磁环境复杂的情况下稳定运行，单张网需要承载多种业务，主干光纤进行冗余保护，将工业生产网与办公网分离，确保安全运行。

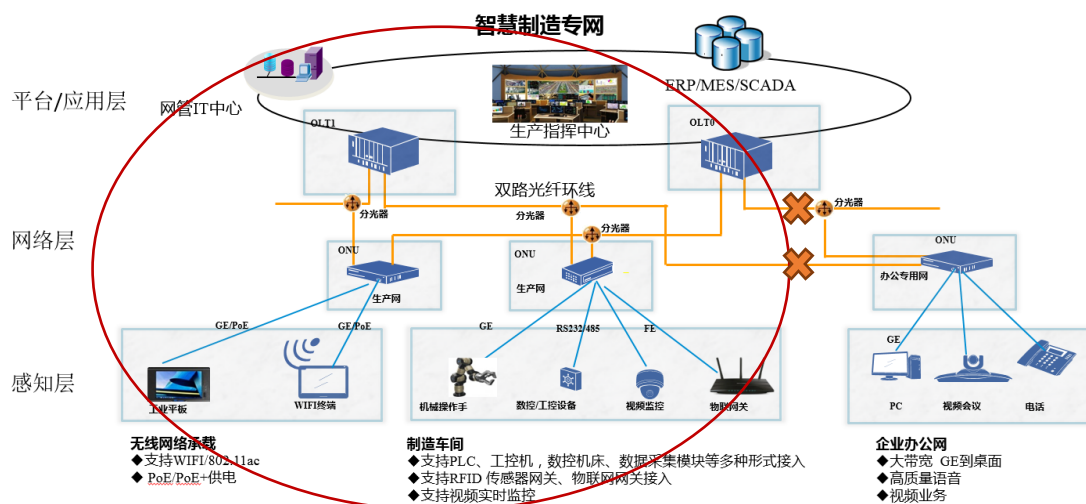


图 5.5 项目整体情况

B. 方案特点：

实施时以中心机房为局点，在生产车间采用全光网络，用于车间物联网关，数控/工控设备、智能化机械手、视频监控及其他安全电子锁等业务。

C. 方案价值：

采用工业 PON 进行全光网的承载和建造，整体的施工效率提升 50%，布线的空间下降 80%，IT 机房节省 3/4，无源 ODN 减少能量消耗 60%，将所有的终端进行 IP 化，可兼容多协议、多设备的标准化的数据采集方式，实现所有的生产制造设备都接入网络。并且可实时进行数据监测和告警处理，对于产能，设备本身损耗，以及设备零部件的使用状态进行实时监测和健康程度预警，做到故障预处理，助力增产提效。

大型组网案例：某国企某园区全光网综合承载项目

A. 项目方案：

某大型光纤光缆行业国企新建园区为了适应生产与办公等多样化需求，采用基于工业 PON 的全光网络方案做统一承载，如下图。

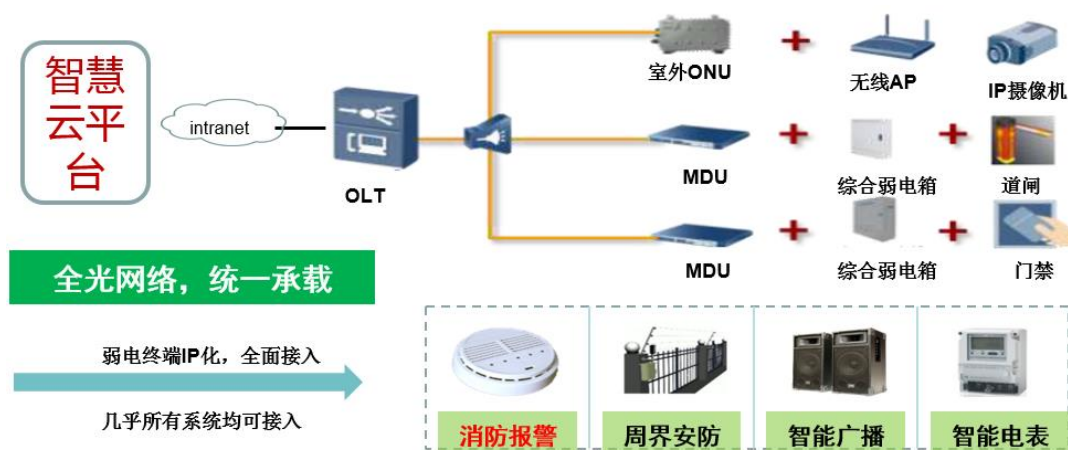


图 5.6 项目整体方案

B. 方案特点：

在具体设计时，将园区的不同区域分解为不同网络区域。如下：

在道路、周界、广场、食堂、停车场等公共区域部署工业 PON 用于承载安防监控、光纤周界安防（特纤）、一卡通、停车管理、巡更等弱电系统。

对预留地和预留厂房区域敷设全光网的微管作为预留，为将来实施全光网全覆盖奠定基础。

在办公区域部署普通的 PON 方案用于承载办公 OA、电话等系统。

在生产区域部署工业 PON 解决方案：在生产车间用工业 PON 连接设备进行设备状态和生产情况实时采样和数据上报，做到准确实时。实现所有的生产制造设备都接入网络。并且可实时进行数据监测和告警处理，对于产能，设备本身损耗，以及设备零部件的使用状态进行实时监测和健康程度预警，做到故障预处理，确保产线持续运行。

C. 方案价值：

组网中，通过结合企业自身特色光纤光缆方案与工业 PON 设备方案，实现了快速高质量的系统布放和业务开通；并实现了长期稳定运行，很好地达到了规划设计目标。

第六章 演进思路

工业 PON 2.0 实现了 PON 与工业数据采集系统之间的有效整合，作为工厂内网络整体解决方案，提供了工业数据采集、工业协议转换、车间内高可用性网络承载、智能设备和数据管理平台等关键能力，满足了工厂内网络演进和发展的需求。

同时，随着工业互联网技术的发展，工业制造企业向智能化、网络化、智能化方向的逐步发展过渡，工业 PON 2.0 也需要向下一代网络解决方案进行演进，目前以中国电信牵头在行业里联合主流厂商探讨向工业 PON3.0，如下图所示，工业 PON 系统的演进设想逐步在形成，工业 PON2.0 或工业 PON3.0 的主流设备也在评估产品功能，围绕工厂数据互联、互通和赋能，整个产业链也一直在努力发展。

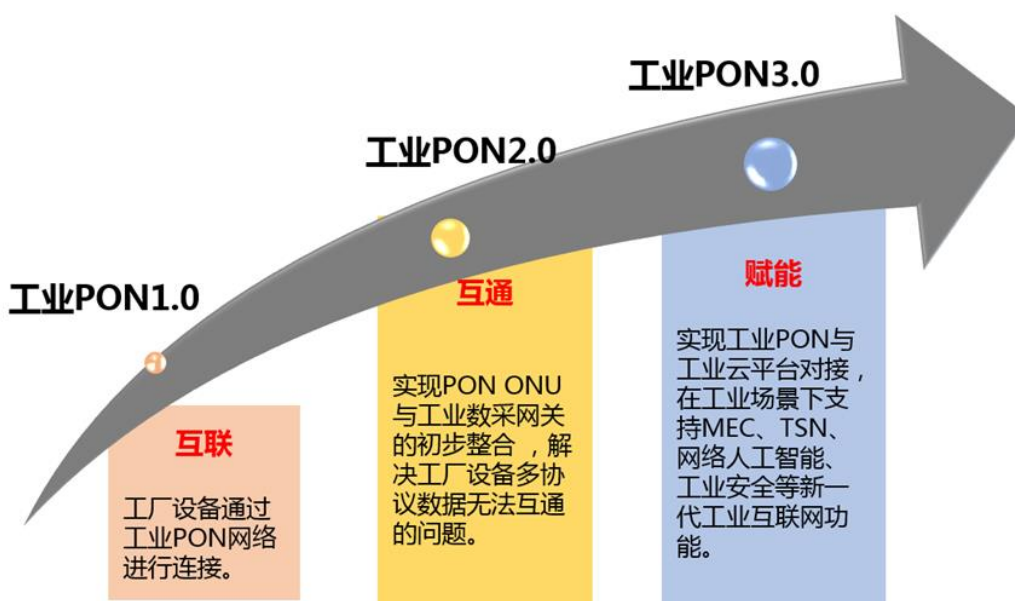


图 6.1 工业 PON 系统的演进设想

工业 PON3.0 规划在工业 PON 局端设备、终端设备以及云端平台等主要领域整合实现更多的工业应用功能，例如边缘计算、各种低时延技术（例如 TSN）、更完备的网络和业务安全保障能力、更加开放的工业平台和工业 APP 实现能力等，为工业制造智能化提供更强的推动力。（完）