
基于工业 PON 的智慧工厂内网建设

中国联合网络通信有限公司江苏省分公司

网络改造技术篇/成熟技术/工厂内网改造

1 概述

1.1 背景

2017 年 10 月 30 日，国务院常务会审议通过《关于深化“互联网+先进制造业”发展工业互联网的指导意见》。《意见》指出，要深入贯彻落实党的十九大精神，以全面支撑制造强国和网络强国建设为目标，围绕推动互联网和实体经济深度融合，增强工业互联网产业供给能力，持续提升我国工业互联网发展水平，形成实体经济与网络相互促进、同步提升的良好格局，推动实体经济转型升级，打造制造强国、网络强国。

工业互联网是新一代信息技术与工业系统全方位深度融合的产物，是新工业革命的关键支撑和智能制造的重要基石。其本质是以机器、原材料、控制系统、信息系统、产品以及人之间的网络互联为基础，通过对工业数据的全面深度感知、实施传输交换、快速计算处理和高级建模分析，实现智能控制、运营优化和生产组织方式变革，推动、保障工业智能化的发展。

工业互联网可以重点从“网络”、“数据”和“安全”三个方面来理解。其中，网络是基础，通过物联网、互联网等技术实现

工业全系统的互联互通，促进工业数据的充分流动和无缝集成。在工业互联网网络建设中，需要围绕工业企业的业务发展需求，充分发挥我国在信息通信领域的优势，借助工业企业内网和工业企业外网的更新换代，加快新技术的部署应用，打造国际先进的工业互联网网络基础设施，全面提升工业企业的网络化水平。

随着无源光网络（PON）技术在电信、电力行业的广泛应用，工业 PON 网络已成为车间数据采集组网技术的一种全新的可选方案。工业 PON 解决方案是基于《意见》中工业网络指导意见，将先进成熟的光通信 PON 技术应用于制造领域的数据采集、监测、生产控制等场景，建设制造车间生产制造自动化和智能化的基础高速通信网络，为企业改造升级调整最终迈向智能制造打下信息化基础。

1.2 实施目标

工业 PON 网络系统是在对传统工业交换机系统研究基础上，结合无源光网络通讯技术的发展，推出的一套安全、可靠、融合、先进的综合解决方案。工业 PON 系统是应用在工业环境的全光 PON 网络系统，是采用光纤传输技术的接入网，泛指端局或远端模块与用户之间采用光纤或部分采用光纤做为传输媒体的系统，采用基带数字传输技术传输双向交互式业务。

工业 PON 可以实现现场设备与上层实体（如服务器、SCADA 系统等）的连接，支持数据采集、生产指令下达、传感数据采集、厂区视频监控等功能。工业 PON 网络是各种信息集成的基础通道，

是智能制造纵向集成的基础，基于 PON 技术的工业网络平台将产品设计研发、制造生产、销售、物流、售后各工业化环节融合集成，最终实现企业 CRM、MES、ERP、SCM、SCADA 等系统信息的统一控制和管理。

1.3 适用范围

根据不同企业工厂的实际网络建设情况，工业 PON 解决方案适用于各类新建车间和生产线智能制造的信息化建设，也适合于自动化程度不高的企业进行自动化、数字化改造，也可针对自动化程度较高需要开展有智能化和新业务场景的网络建设。

1.4 在工业互联网网络体系架构中的位置

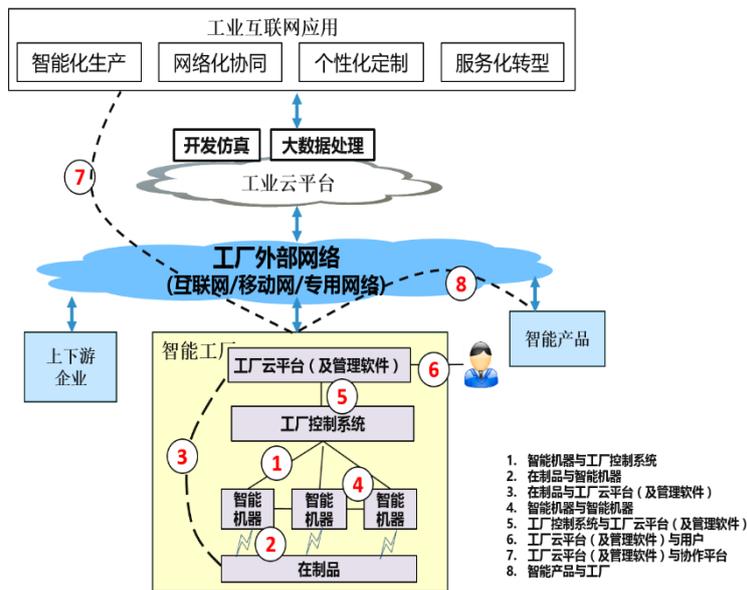


图 1 工业互联网互联示意图

本解决方案主要应用于工厂内部网络建设，主要适用于 1、2、3、4、5 方向，实现底层设备数据传输及数据采集，可实现高可靠、高安全、高效率的组网，支持提供工厂内有线网络、无线网络，是各种信息集成的基础通道，是智能制造纵向集成的基础。

2 需求分析

工业互联网网络包括工厂内部网络和工厂外部网络，工厂内部网络实现工厂内生产装备、信息采集设备、生产管理系统和人等生产要素的广泛互联；工厂外部网络实现生产企业与智能产品、用户、协作企业等工业全环节的广泛互联。《关于深化“互联网+先进制造业”发展工业互联网的指导意见》提出了工业网络指导意见。工厂内网络改造的目标是在 2018-2020 年三年起步阶段，初步建成低时延、高可靠、广覆盖的工业互联网网络基础设施，到本世纪中叶，工业互联网网络基础设施全面支撑经济社会发展。工厂内网络改造的方向是推进工业企业内网的 IP(互联网协议)化、扁平化、柔性化技术改造和建设部署。工厂内网络改造的模式是支持工业企业以 IPv6、工业无源光网络 (PON)、工业无线等技术改造工业企业内网，以 IPv6、软件定义网络 (SDN) 以及新型蜂窝移动通信技术对工业企业外网进行升级改造。

由于我国工业企业发展水平差异较大，相当一部分企业特别是中小企业的数字化、网络化基础薄弱，欠缺发展智能化生产、网络化协同等新模式新业态的基础环境，因此开展工业企业内网络改造是首要任务，也是长期任务。通过分步骤、分行业推进 IP 化、扁平化、柔性化的技术改造和网络部署，逐步推进打造先进制造的基础生产网络环境。目前，部分工业企业已经计划或正在实施工业企业内网改造升级，在智能设备与业务分析平台之间建立网络联网，从而实现智能设备指令数据远程下发控制及监控数

据采集能力。

在工厂内网络方面，目前工业以太网是工厂内主流的信息承载技术，但工业以太网在厂区和车间的局限性也日益凸显：

- 1) 带宽提升困难；
- 2) 大量铜线部署和重复投资导致建设成本高；
- 3) 能耗和空间占用高，需要大量电力、空调供应和机房占地；
- 4) 需要较高的业务支撑能力，WLAN 网络、语音网络、办公网络，多网并行，网络维护复杂，对企业的业务支撑能力要求高。
- 5) 传统工业现场总线、工业以太网等网络技术、标准和产品主要集中于少数发达国家。

近年来，我国提出了工厂自动化以太网（EPA）、工业过程/工厂自动化无线网络（WIA-PA/FA）等技术，但产业化和商用水平低。同时，国际产业界也正在关注研究时间敏感网络（TSN）、工业软件定义网络（SDN）等新技术。随着 PON 技术在电信、电力行业的广泛应用，工业 PON 网络已成为车间数据采集组网技术的一种全新的可选方案。工业 PON 网络利用多种接口及协议实现底层设备数据传输及数据采集，可实现高可靠、高安全、高效率的组网。工业 PON 继承 PON 网络大带宽、扁平架构、业务融合等技术优势，并在安全、可靠、易维、接口、环境适应等方面有所增强，全面适配工业制造现场要求，成为工业级网络连接的优选方案。

3 解决方案

3.1 方案介绍

工业 PON 处于车间级网络位置，通过工业级 ONU 设备实现光网络到设备层的连接，通过光分配网络（ODN），实现工业设备数据、生产数据等到 OLT 的汇聚，最终通过 OLT 与企业网络的对接，从而实现产线数据到工厂/企业 IT 系统的可靠有效地传输。

工业 PON 是车间级网络，对生产线设备（如数控机床）有线网络覆盖，同时通过对无线网络承载实现车间有线无线一体化网络覆盖。工业 PON 针对工业各类应用场景，满足工业场景下的各种工业控制总线场景要求，提供工业场景类型接口。可为工业控制、信号量监控、数据传输、语音通信、视频监控等各种业务应用提供支持。各业务流通过 PON 系统上行后，由 OLT 汇聚上联 GE/FE 接口连接到工厂级网络，实现智能制造 MES、ERP、PLM 等系统和下层物理设备的对接，从而实现工业控制、数据采集分析、视频监控等功能。

3.2 系统架构

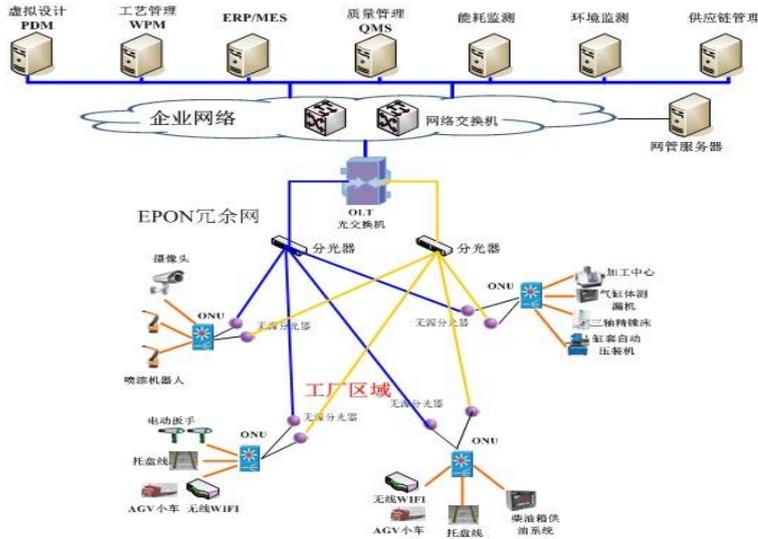


图 4 工业 PON 手拉手保护的星型组网示意图

3.4 功能设计

根据不同企业工厂的实际网络建设情况，工业 PON 解决方案适用于各类新建车间和生产线智能制造的信息化建设，也适合于自动化程度不高的企业进行自动化、数字化改造，也可针对自动化程度较高需要开展有智能化和新业务场景的网络建设。

1) 新建厂房、生产车间，或新增生产线，需对机床、机器人、流水线等设备部署信息自动化采集点。

在这种场景下，生产车间需要新建，这种场景的特点是车间内没有以太局域网，需要重新部署网络。在这种场景下可以完全通过工业 PON 网络搭建车间内的数据采集网络，工业级 ONU 直接连接机器或数据采集设备。通过事先规划/现有的智能设备/流水线位置，规划布线及 ONU 放置位置及数量。通过厂区内工业 PON 系统的部署，实现厂区工业生产信息或用户信息的采集、控制业务的接入承载，为工业生产中的采集控制终端与业务层的各个应

用系统提供安全可靠的通信连接。

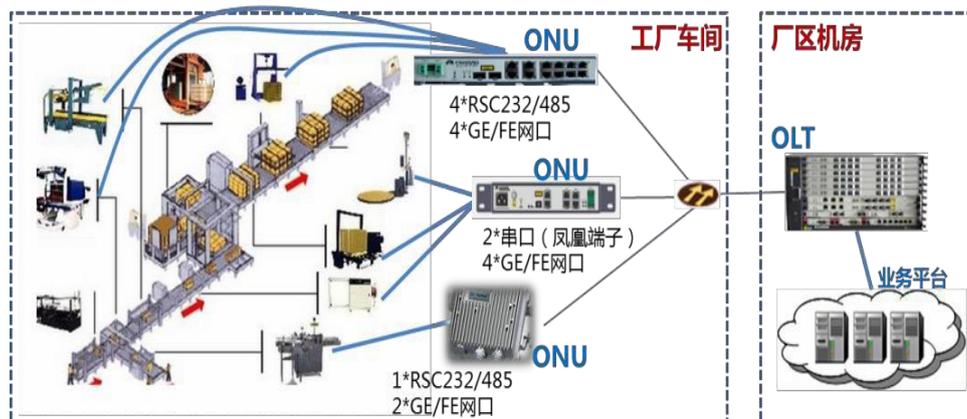


图 5 工业 PON 应用场景 1 示意图

工业生产网主要做提取相关数据和承载相关软件用途，需要网络覆盖范围广、网络设备可提供多种接口能力、带宽高、扩展性强、兼容性好。因此，通过选用工业 PON 网络，采用点到多点结构，在网络上可以提供多种业务并集成无线覆盖。通过 PON 组网可实现冗余切换，保证了网络的高可用性和设备的健硕性。

2) 原有车间仅部署了近端工业机床信息化操作，尚未将相关数据及控制指令远程化及自动采集化，车间生产线需要进行加强自动信息化能力。

这种场景的特点是车间生产线已有现场到工位的信息化网络，但需要将数据采集到远端进行监控。在这种场景下可以通过工业 PON 网络搭建车间内的数据采集网络，将分散在各个工位的信息化数据进行汇聚。由于各个工位/产线已有近端的以太网，因此可通过 ONU 与车间内近端布设的以太网交换机连接，实现数据的汇聚。

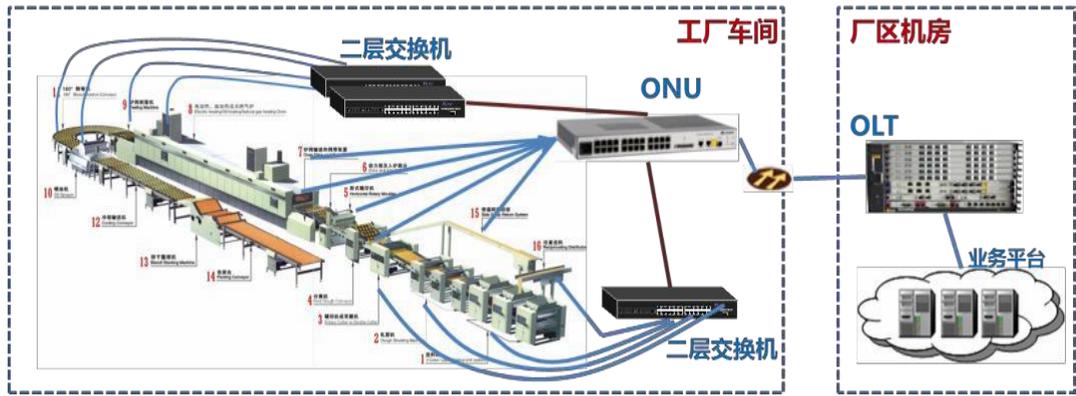


图 6 工业 PON 应用场景 2 示意图

3) 厂区车间内已部署了工业以太网局域网，但是其他拓展业务，如能源监控、视频安防、WiFi 覆盖等需要部署，需要对多种应用进行网络安全隔离（物理及逻辑双重）。

这种场景的特点是车间生产线已有信息化网络，辅助设备及业务需要重新部署网络，在这种场景下可以通过工业 PON 网络连接新的业务设备，并与原有的工厂工业以太网隔离。

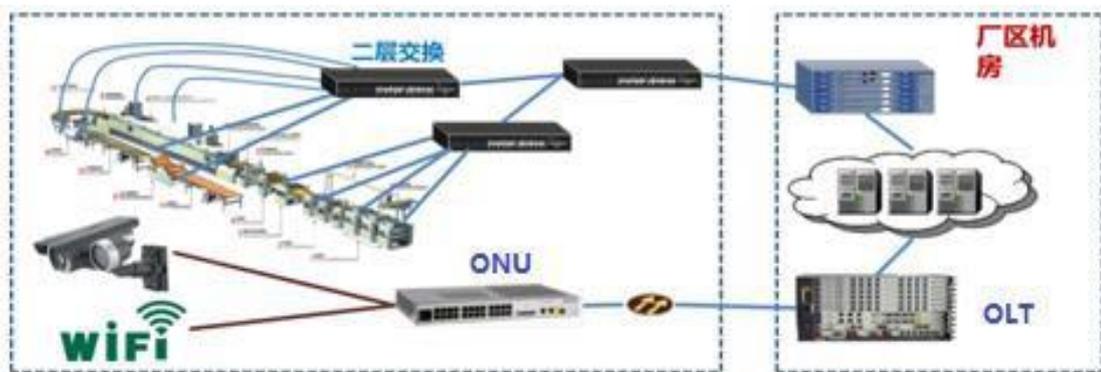


图 7 工业 PON 应用场景 3 示意图

基于工业 PON，提供设备联网、视频监控、能耗管控等应用。

1) 设备联网

支持提供 RS232/RS485、GE/FE 工业现场通信接口，实现 PLC 设备、数据采集器、工位前置机等 I/O 控制、数据采集、设备集成，以及基于条形码/RFID 的现场数据实时采集。

2) 能耗管控

支持重点用能设备、车间级、工厂级、企业级的水、电、气等能源的监控，通过智能电表、水表、流量计等智能仪表的新增与改造、工业总线的连接与上传，实现能耗的实时监控与管理。

3) 安防监控

通过智能摄像机对前端视频图像信号的采集处理，实现对远程图像的实时监控、录像、回放、联动报警、监控策略制定、应急指挥等应用，全面满足交通、水利、油田、银行、电信等各个领域的安防监控的需求。

3.5 安全及可靠性

1) 组网安全

为了提高网络可靠性和生存性，工业 PON 系统中采用光链路保护倒换机制。工业 PON 光链路保护可采用 TYPE D 方式(双 OLT/单 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、PON 板间和不同 OLT 间的 PON 口保护等四种。这种方式支持不同的 ONU 分别工作于同一/不同 OLT 的主用和备用 PON 接口。组网方式可采用星型网络或者链型手拉手保护。

2) 设备安全

工业 PON 局端设备 OLT 的核心控制和交换模块、电源模块、

管理板、上行板等关键板件冗余备份，保证设备稳定运行。

当 OLT 主用主控板在检测到软件异常、硬件异常、拔板、网管强制命令倒换等情况下发生自动倒换，将全部业务配置倒换到备用主控板。主控板倒换时间小于 50ms；支持 40ms 的 Dyinggasp 保护；工业级 ONU 寿命 50 年。

3) 现场环境安全

工业 PON 系统满足各种复杂生产制造环境需要。工业 PON 系统为无源系统、适用于生产制造车间强电磁干扰、强振动场景，工业级 ONU 设备支持抗强电磁干扰达到 EMC 4 级、抗强振动、宽高温（-40℃~85℃）宽湿度（5%~95%），用户端口防雷 6KV 等可满足各种工业制造复杂环境要求。

4) 数据安全

工业 PON 支持三重搅动加密，支持 DHCPv4、DHCPv6、DHCPv6-PD 用户认证方式，OLT 支持 OLT 的 PON 接口与 ONU（物理标识或逻辑标识）之间的绑定功能，即特定物理标识或者逻辑标识的 ONU 只能在特定的 PON 口上注册。

5) 业务安全

数据业务侧实现完善的数据加密功能、业务优先级保护和防攻击保护。支持多种 VLAN，支持工厂各种专网隔离。

4 成功案例

本解决方案已经在徐州重型机械有限公司进行实施。徐州重型机械有限公司占地 60 万平方米，建筑面积 40 万平方米，年制

造能力 15000 台，是中国大型臂架机械行业标志性企业。



图 8 徐州重型机械有限公司车间

4.1 新建网络诉求

- 满足生产作业现场可视化规划需求；
- 模组机床和智能设备联网规划需求；
- 满足智能物流、数字监控、可视化调度中心等功能需求；
- 生产现场将以有线网络为主无线网络为辅（布线困难地方采用无线网络作为补充）；

4.2 布点需求预估

表 1 企业布点需求

序号	区域名称	数据信息点位数	语音信息点位数	24GE+24POTS 口 ONU	4GE+4 串口 ONU
1	办公楼	1883	1226	79	0
2	工程中心	349	135	15	0
3	零部件分厂	372	237	12	23
4	总计	2604	1598	106	23

4.3 新建工业 PON 网络优势

- 实现了网络扁平化

全光纤组网，采用二层扁平架构，实现弹性扩容。

- 满足了多业务承载

支持多业务接口，满足智能制造生产控制、数据采集、无线专网承载、行政办公各种应用场景。

- 提高了网络稳定性

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。

- 达到了千兆高带宽

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。

- 增强了网络安全性

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。

4.4 新建工业 PON 网络预估成效

表 2 企业布点需求

对比项	工业 PON 建成前	工业 PON 建成后
网络	区域覆盖差、网速慢	全覆盖、网速快
终端机数量	整个车间只有几台能正常使用	每个工位至少一台
MES 报工方式	空闲时间集中报工	实时报工
关重件采集支持	空闲时间集中采集	实时采集
现场看图、通知支持	借阅纸质图纸、通知	可在生产现场随时查看