



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

# 工业 PON+5G 融合的技术 应用白皮书 (2022 年)

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

工业互联网产业联盟 (AII)

2023年6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（注明是引自其他方的内容除外），并受法律保护。如需转载，需联系本联盟并获得授权许可。未经授权许可，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：aai@caict.ac.cn



# 前 言

工业互联网作为我国新基建方针的核心战略肩负着产业升级和提高高端设备制造生产能力的重大发展使命。从定义上看，工业互联网应提供工业经济全要素的全连接，是新型网络、先进计算、大数据、人工智能等新一代信息通信技术与制造技术融合的新型工业数字化系统，其网络呈现融合、开放、灵活的趋势。我国的工业企业前期发展主要聚焦在生产自动化和管理信息化上，帮助企业实现端到端，全生命周期的生产数字化管理。

与此同时，工业 PON 和 5G 等新型网络技术在工业互联网领域已有较为丰富的应用，但越来越多的场景既需要工业 PON 也需要 5G，因此，将工业 PON+5G 融合的网络，实现固定、移动设备全连接，结合高带宽、低时延、低损耗、易运维、抗干扰等优势满足企业在智能制造和智能管理过程中的网络连接需求，同时又可以保证网络的安全、便捷和易用。可通过建设工业 PON+5G 融合网络实现企业园区内的生产控制、厂区监控、办公业务的统一接入，以实现企业人、机、物的全面互联。

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成员单位参加编写完成。参与单位有：华为技术有限公司。目前，已经形成了白皮书的征求意见稿，文中肯定还存在诸多不足之处，欢迎各位专家学者提出意见，共同促进本白皮书的完善，助力工业互联网蓬勃发展。

## 编写组成员（排名不分先后）：

孙慧、金嘉亮、蒋铭、王孝明、朱红绿、于啸、罗勇、董寅、刘德坤、翟士奇、黄廷飞、杨虎

## 牵头编写单位：

中国电信集团有限公司

## 参与编写单位：

华为技术有限公司



工业互联网产业联盟公众号



# 目 录

一、发展背景及需求分析.....	1
(一) 工业 PON+5G 融合发展政策明朗 .....	1
(二) 工业 PON+5G 融合应用需求旺盛 .....	1
二、工业 PON+5G 融合网络技术特点及优势.....	2
(一) 定义及内涵分析 .....	2
(二) 组网架构 .....	3
(三) 关键设备及功能 .....	12
(四) 网络规划及部署模式.....	14
三、工业 PON+5G 融合网络的典型应用.....	16
(一) 应用情况 .....	16
(二) 典型案例 .....	19
四、工业 PON+5G 融合发展趋势 .....	23





## 一、发展背景及需求分析

### （一）工业 PON+5G 融合发展政策明朗

2020年3月25日，工业和信息化部印发《“双千兆”网络协同发展行动计划（2021-2023年）》中明确表示“双千兆”网络协同发展的主要目标是用三年时间，基本建成全面覆盖城市地区和有条件乡镇的“双千兆”网络基础设施，实现固定和移动网络普遍具备“千兆到户”能力。2021年11月16日，在工业和信息化部“十四五通信规划”中明确提出千兆光网发展与行业应用深度融合，将千兆光纤网络覆盖能力推进到房间、桌面和机器，构建面向行业网络的千兆光网基础设施，与5G协同助力行业数字化转型升级发展。

2021年9月18日-2022年9月3日，首届“光华杯”千兆光网应用创新大赛面向行业融合应用特设专题，聚焦行业数字化转型，开展面向不同应用场景和生产流程的千兆光网应用创新，加快形成千兆光网和5G网络“双千兆”优势互补的应用模式，服务行业发展。

### （二）工业 PON+5G 融合应用需求旺盛

行业客户在发展信息化、数字化、智能化的过程中，需要多样化的全覆盖接入能力，满足生产、办公、安防、园区公共管理等场景的设备连接要求，实现数据的互联互通，工业 PON+5G 融合组网能够实现整网规划、一网部署、多场景覆盖、多业务承载，已在一些行业客户的项目中先行先试，并取得初步认可。

工业 PON+5G 融合网络满足行业应用中海量多类型连接需求，提供上行千兆带宽，满足高可靠、低时延、灵活管控等用网要求。将工业

PON网络的抗干扰、低能耗、低成本、高可靠性的特点，与5G定制网的广覆盖、易连接的特点有效结合起来，成为行业客户普遍易于接受的高性价比的行业专网方案。

## 二、工业PON+5G融合网络技术特点及优势

### （一）定义及内涵分析

“双千兆”是指以千兆光网和5G为代表的“双千兆”网络，能向单个用户提供固定和移动网络千兆接入能力，具有超大带宽、超低时延、先进可靠等特征，二者互补互促，是新型基础设施的重要组成和承载底座<sup>1</sup>。

千兆光网主要是指在光接入网实现千兆接入能力，骨干光网会随着接入网能力提升而同步提升。聚焦到接入网能力来看，在固定网络接入方面，运营商采用的PON技术目前已经全面升级采用10G EPON、XG(S)-PON，实现下行带宽10Gbps，上行带宽最大10Gbps。在移动网络接入方面，运营商采用5G技术具备大带宽能力，同样可以理解为具备千兆接入能力的网络技术。

从对网络关注的视角上看，行业客户与运营商的还是存在一定差异的，如图1所示，行业客户更关注自己范围内的网络，一般称为企业（工厂）内网，从通信的角度看就是客户端和接入网两个部分。运营商关注的行业网络包括接入网和承载网，同时为了在接入网部分更好的满足行业客户的接入需求，运营商也在不断去理解行业及业务。由此可见，接入网是两种视角的交叠，工业PON+5G成为面向行业客户提供的“双

---

<sup>1</sup> 源自：《“双千兆”网络协同发展行动计划（2021-2023年）》

千兆”网络的重点，也是新型通信技术赋能行业与行业业务深度融合的关键。

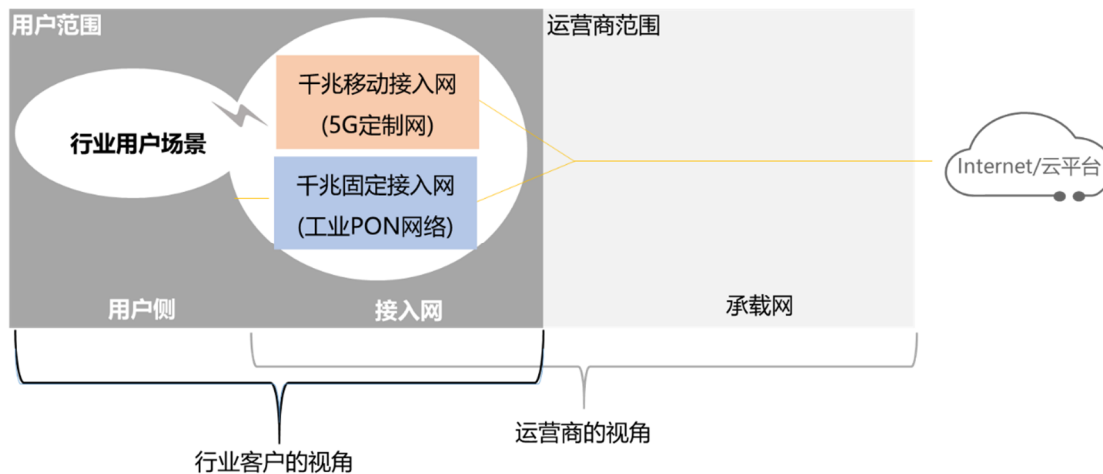


图 1 面向行业的双千兆网络视角示意图

## （二）组网架构

### 1. 组网拓扑

以“工业 PON+5G”的双千兆网络来构建行业内网（专网），如图 2 所示，工业 PON 网络承载固定设备的接入，同时提供固定区域内的 WiFi 连接能力，5G 网络承载移动设备的接入，满足广域、移动、可调整的接入需求。

面向行业客户应用的工业 PON 网络与 5G 网络一般按照专网的方式规划和部署，在企业核心机房构建企业数据中心，将网络数据汇集到业务平台和专网 MEC，同时建议部署网络管控平台实现对行业内网运行的可视化、可调整的管控能力。

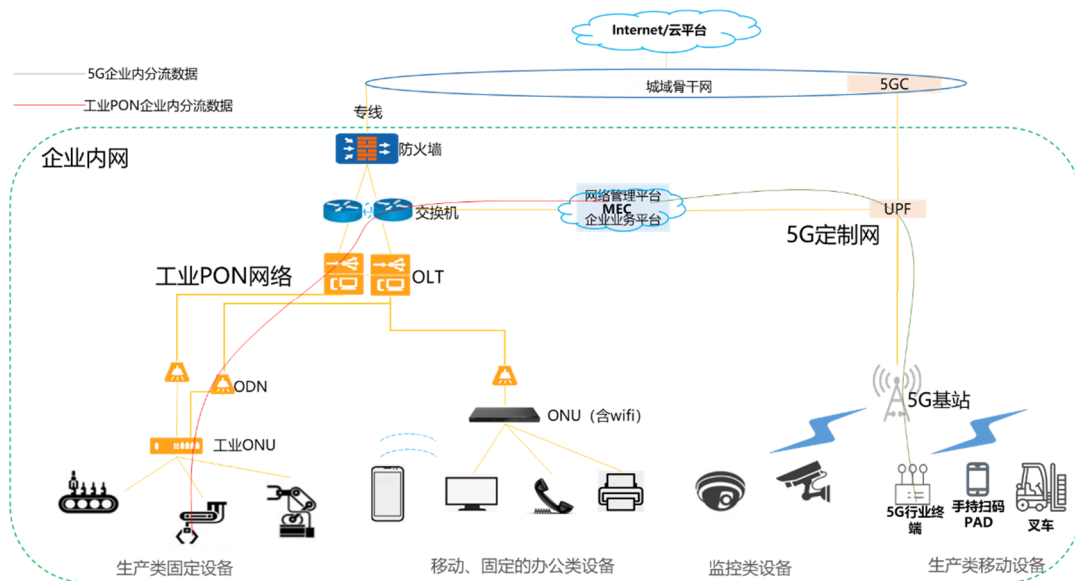


图2 工业PON+5G融合组网

## 2. 组网优势

一网到底，多场景全光覆盖。工业PON组网采用光纤作为承载介质，可以兼容传统以太网承载的业务，还可以同时提供宽带、语音（固话）、WiFi等业务接入。

一网承载，多业务虚拟隔离全承载。采用切片和VLAN技术，实现不同层级和能力的业务隔离功能。

一网融合，AI、边缘计算等多技术融合。基于云网融合的架构，涵盖实体层、网络层、平台层、应用层，结合行业客户业务需求，打造新型高可靠、高性能的工厂网络融合光底座，有效发挥数据及应用能力。

一网管控，整网分级分域智能统一管控。根据企业客户用网习惯和管网诉求，为行业客户了提供智能、易用、可演进升级的管理运维服务。

一网实施，架构扁平施工便捷。工业PON网络与传统交换机以太网相比，架构上将由三层变为二层，采用无源ODN光纤组网无需维护无需管理，支持20KM光纤传输，减少布线，节约物料成本和人力投入。5G

网络覆盖只需布设 5G 基站等设备，企业内部接入无需布线，更加便捷，满足柔性制造和灵活动态调整的接入终端需求。

一网演进，支持技术演进持续提升网络性能。5G 技术和 PON 技术具备完整的技术演进体系，设备上支持带宽的平滑演进，部署上支持组网升级改造，业务上满足高质量网络需求的迭代。

绿色节能，传输高可靠、无源抗干扰。工业 PON 采用 ODN 无源光纤组网，无需供电且部署位置灵活，在建筑空间中减少了弱电空间，且减少供电设备和空调设备等，实现了节能减排，符合绿色低碳的发展目标。

### 3. 特点与场景

#### (1) 应用特点

##### 1) 固移融合可以满足用户的无缝通信需求

固移融合可以满足用户的无缝通信需求，为用户提供灵活的、与网络技术类型无关的业务承载能力，便于用户根据实际需求进行便捷、快速、合适的网络接入选择。工业 PON、5G、WiFi6 关键能力对比如表 1 所示：

表 1 工业 PON、5G 关键能力

关键能力/技术	工业 PON		5G
	有线接入能力	局域无线接入能力 (WIFI6)	广域无线接入能力
上行大带宽	10Gbps+	500Mbps+	500Mbps+
稳定性和时延	<1ms@99.999%	稳定性差 (开放频谱, 干扰大)	20ms@99.99%
准定位	无	弱 (10 米级)	较好 (3-5 米级)
业务移动性	移动性差 (转场需要重新对纤, 容易缠绕损伤)	移动性较好 (无损漫游, 切换时间->10ms)	移动性好, 无缝切换 (支持切片&QoS, 有 SLA 保障)
网络安全	高		高 (空口加密, 256 位加密)

工业 PON（含 WiFi6）、5G 选用建议如下：

- a) 业务有移动性需求，且有较大上行大带宽、较低时延和可靠性要求，有定位需求，优选 5G；
- b) 业务无移动性需求，且对上行大带宽需求高及时延可靠要求高，无定位需求，优选工业 PON；
- c) 业务有移动性需求，且有一定的上行大带宽需求但对时延可靠性要求低，优选 WiFi6。

## 2) 固移融合可以降低客户建网及运营成本

当移动和固定网络相互独立时，两张网络独立运维，上线新业务和网络管理需分别在两张网络上完成，且需要分别配合两套独立的网络运维系统，使得业务上线效率较低但成本较高。

当固定和移动网络融合之后，统一规划按需建设，统一管控灵活可控自主运维，网络建设及运维的综合成本将显著下降，业务上线效率也将显著提升。

### (2) 应用场景

通过工业 PON+5G 实现工厂有线无线全连接，构建双千兆光网基础设施，典型应用场景如表 2 所示。5G 适合于辅助生产环节的移动化及生产环节的柔性化场景，工业 PON 适合于固定位置大带宽尤其是大上行的场景、扁平化多网融合场景、无源化抗电磁干扰场景，确定性低时延及零丢包特性使得以工业 PON 切入工控域具备技术可行性，可以进一步结合场景需求开展创新应用实践。

表 2 工业 PON+5G 典型应用场景

原子能力/场景	位置定位 米级/亚 米级	上行大带宽 20~150Mbps	移动性 无线化	低时延 ~50ms	超低 时延 <10ms	上行超大 带宽 150~Mbps
人员管理 (识别、定位、告 警)	5G(移动)					
数采/加载 (数据采集、软件 加载)		5G(移动) 工 业 PON(固定)				
设备车辆调度 (园区、仓储和车 间物流, 列控列 调)			5G( 移 动) 工 业 PON (WIFI)			
AR/VR (远程维护、协 作、培训)			5G( 移 动) 工 业 PON (固定)			
设备控制 (危险及恶劣区域 设备远控)				5G( 移 动) 工 业 PON (固定)		
高清视频 (视频监控、视频 会议和直播)						工业 PON (固定)
移动巡检 (机器人或无人机 巡检)		5G(移动) 工 业 PON (WIFI)				
C2C 控制 (多台机器间协 作)					工 业 PON ( 固 定)	
机器视觉 (表面检测, 缺陷 检测)						工业 PON (固定)

## 4. 技术与实践

工业 PON+5G 融合是将以前分离的固定和移动通信业务、网络和商业模式进行有机结合。从融合技术的角度包括：网络融合、业务融合、终端融合，但在实践中还需考虑融合商业模式及优势。

能够实现融合建立在融合技术发展的基础上。首先，云计算、网络功能虚拟化、软件定义网络等技术为“固移融合”提供了坚实的基础。其次，异构网络保护倒换技术，在设备和网络层面实现无缝连接，能够在不同的网络平台间传输多种应用。然后，端到端的网络切片技术，可以确保在同一张网针对不同的业务提供不同的传输质量。最后，融合终端技术，终端具有多种网络接入的能力和模块，使得统一终端可以动态选择不同的传输路径。

### (1) 网络融合

➤ 实践一：异构网络互为备份，提升网络可靠性

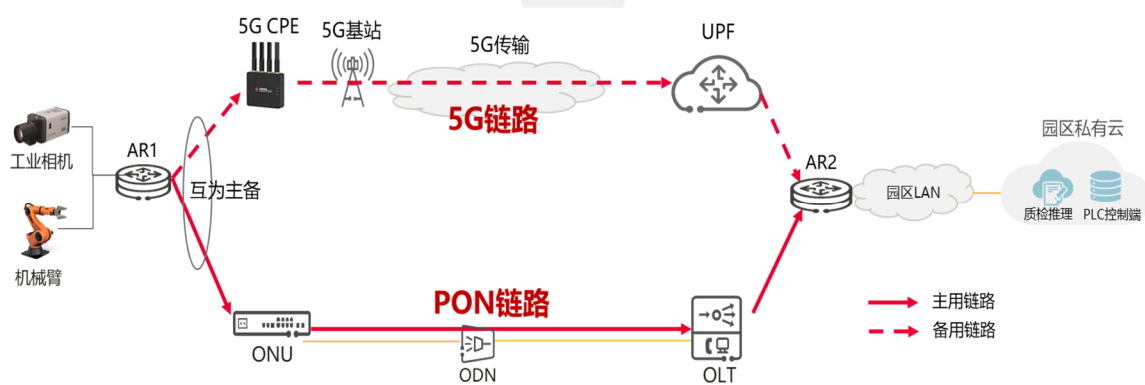


图3 工业 PON 与 5G 互备份组网示意图

- 1) 根据不同业务的诉求，支持可选 5G/工业 PON/5G+工业 PON 多路径通信；



- 2) 控制类小包业务复制多份分别在 5G 和工业 PON 进行发送，实现冗余；
- 3) 大包业务优先在工业 PON 进行传输，5G 作为备份链路确保传输不中断；
- 4) 接收端“先到先得”保障关键业务可靠性。

➤ 实践二：WDM-PON 作为 5G 前传承载

$N \times 25G$  WDM-PON 系统通过波分复用技术，在单根光纤上实现双向传输，系统上行和下行应分别使用不同的波长，下行通道的波长范围是  $1529.553\text{nm} \sim 1544.526\text{nm}$ ，上行通道的范围是  $1551.721\text{nm} \sim 1567.130\text{nm}$ 。在支持上述工作波长时，OLT 设备应采用固定波长激光器，可选支持可调激光器；ONU 设备应采用可调激光器。应用方式如图所示：

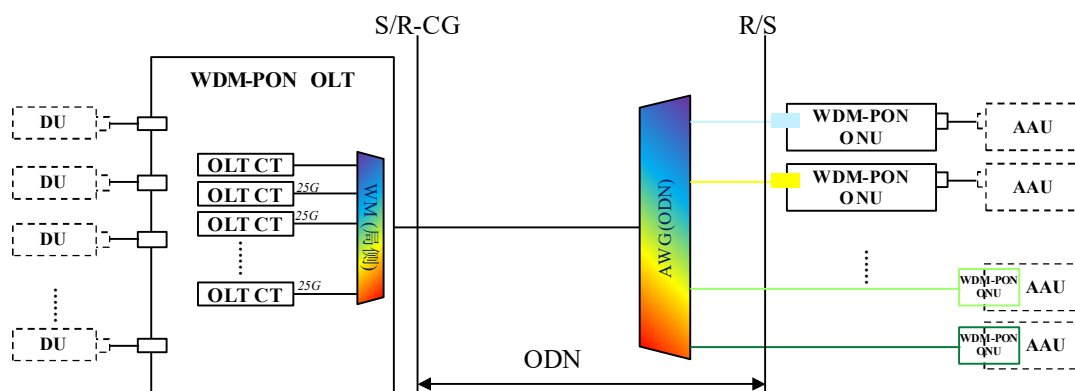


图 4  $N \times 25G$  WDM-PON 系统应用于 5G 前传示意图

WDM-PON 局端及 AWG 均可在工程初期部署，主干光纤原则上可利用现有光网 FTTH 的 ODN 网络，因此可灵活面对未来 5G 基站网格式建设方式，通过配纤光缆调配快速提供前传链路。

➤ 实践三：5G 通过 5G LAN 与工业 PON 二层组网互通

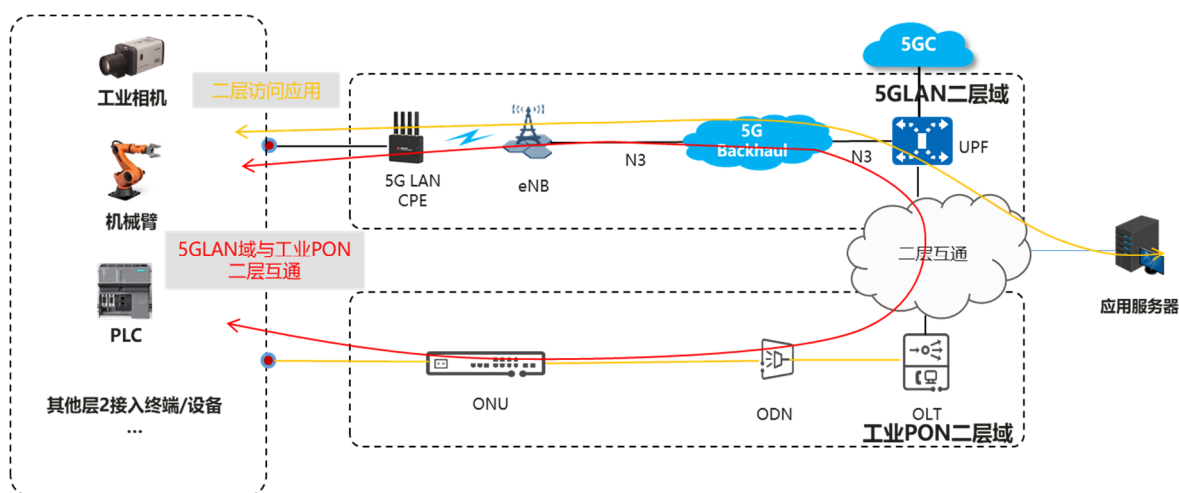


图 5 工业 PON 与 5G LAN 二层组网互通示意图

- 1) 5G LAN 实现 5G 原生极简二层组网，无需 AR 路由器，组网更加灵活方便；
  - 2) 与工业 PON 二层通过隧道技术和虚拟交换互通，形成园区内一张 LAN 网络。
- (2) 业务融合：
- 实践一：工业 PON 与 5G 均可以共享 MEC 平台业务

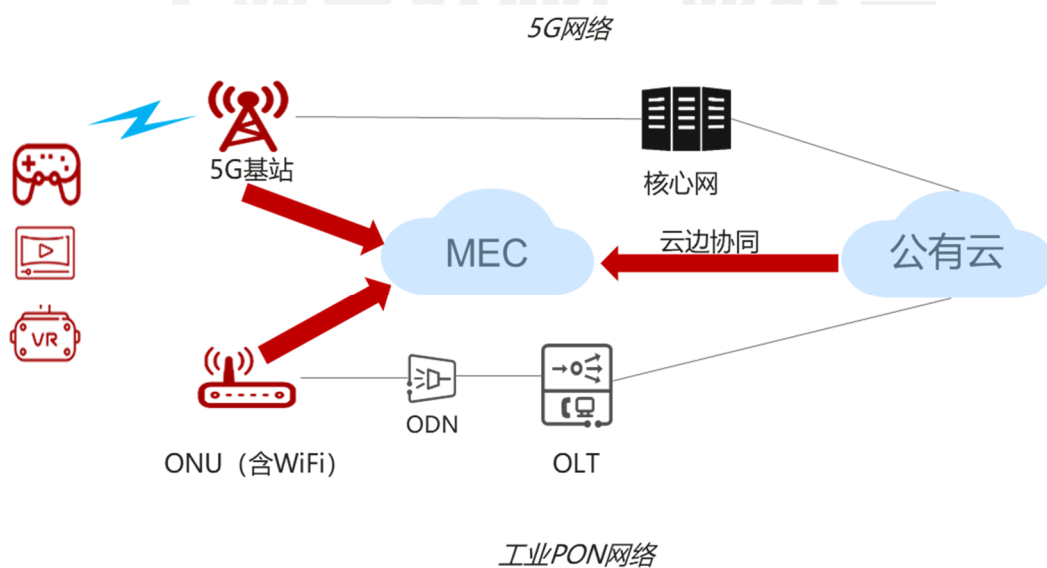


图 6 MEC 数据共享示意图

- 1) MEC 能够将网络能力通过可视化的方式开放给用户；
- 2) 支持虚拟路由、交换、隔离、负载均衡等 SDN 能力实现平台内网络资源灵活编排；
- 3) 通过简单配置就可以根据用户场景化需求进行灵活加载，包括视频 AI 监控、人脸识别打卡、天翼对讲、AR 远程辅助等。

### (3) 终端融合：

#### ➤ 实践一：基于 PON 的 5G 一体化小基站

对于非连续性 5G 业务需求场景或者小型商业空间场景的室内覆盖，因为部署环境、接入数量、回传网络等方面的原因，较难采用分布式小基站或扩展型小基站，因此可随宽带部署的一体化小基站成为部分工业场景 5G 覆盖的一种可行的解决方案。

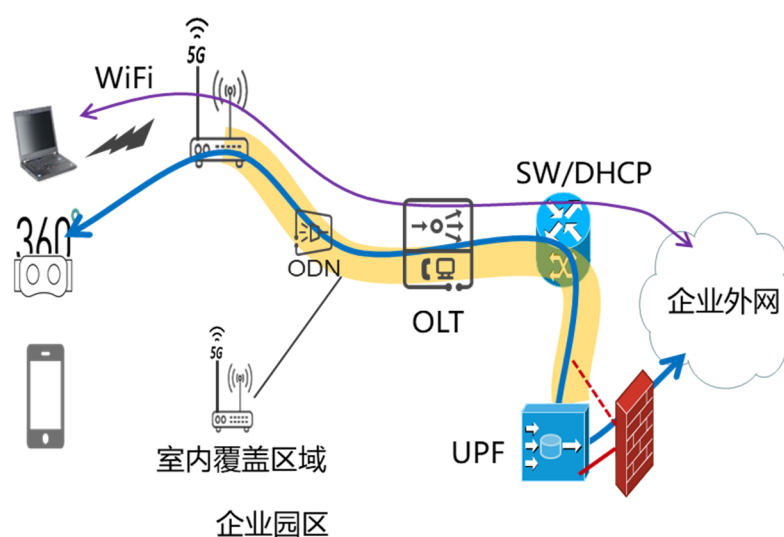


图 6 基于 PON 的 5G 一体化小基站组网示意图

5G 系统在时间、频率上均要求同步，因此需要根据小基站的应用场景、部署位置、PON 承载能力，采用 PON 时钟作为一体化小基站的时钟同步方案，解决室内安装 GNSS 不便的问题。

### （三）关键设备及功能

#### 1. 网络融合设备

##### （1）工业 PON 与 5G 备份设备

- 1) AR: 通过 OAM 机制进行主用和备用链路可用性的检测。
- 2) OLT/ONU: 通过双链路双发选收，保障重点业务冗余备份。

##### （2）WDM-PON 设备

N×25GWDM-PON 系统承载的业务类型包括：

- 1) 用于 5G 前传的 25G 速率 eCPRI 信号。
- 2) 用于 5G 前传的时间同步信号、时钟同步信号，包括 SyncE 和 IEEE1588v2 信号。

##### （3）5G LAN 与 PON 二层组网互通设备

- 1) OLT/AR: 通过隧道将数据传输到 UPF。
- 2) UPF: 通过隧道交叉转发实现虚拟 LAN 网络，接入 5G/工业 PON 的终端可基于虚拟 LAN 网络互通。

#### 2. 业务融合设备

##### （1）MEC 设备

独享型一体化 MEC 平台，为行业客户提供全套的 MEC 产品服务，该设备部署在客户机房或者靠近客户园区的电信机房，以软硬一体的形式交付给客户，通过部署的独立门户为客户提供自主化的运营管理能力，必要时运营商也可以为其提供远程运维的服务。

MEC 的具体功能主要分四个大类，即网络能力、平台能力、业务能力以及运维能力。包括通过本地 DNS 等技术为企业增强网络能力；对物理机硬件资源展示和控制，灵活配置调度和管理虚拟机资源以及镜像，提供全面的存储管理能力等平台能力；业务能力这块，主要是各种服务

管理，包括应用部署、应用管理、应用开通等；运维能力这块，运营商通过运维交付团队可以按照客户需求提供定制化的交付。

## （2）UPF 设备

UPF 可以看做一个将 5G 数据流转发到客户内网的网关，是运营商和客户的业务的分界点，也是 5G 边缘定制网的必备要素。传统的网络架构里，这样的网元设备是运营商分省集中部署的。在 5G 定制服务环境下，通过将这个网元下沉到客户附近，实现了园区、企业 5G 数据实现本地闭环，在保证数据安全不出厂的同时，也能满足业务低时延的需求。根据部署位置的不同，可以提供最少 20ms 的业务时延。

作为用户面，支持 5G SA 组网场景的本地流量卸载，UPF 根据下发的 ULCL 规则进行转发，同时满足行业用户访问本地业务和公网需求；提供基于流的端到端 QoS 调度，支持流量限速和流量上报等功能；支持动态业务规则、执行业务策略；支持离线计费、在线计费，提供基于流量等多种计费方案。

## 3. 终端融合设备

5G 一体化小基站是融合了 PON 系统、5G、WiFi 高度集成的微型 5G 基站，可通过 PON 进行 5G 数据回传。是构建 5G 边缘定制服务的网络设备形态之一，其最大的优点是可以以较低成本实现按需便捷部署，满足不同室内场景的差异化需求，结合工业 PON 网络条件和园区场景的实际业务需求、部署环境和部署限制，来满足制造园区的覆盖或者热点容量诉求。

5G 一体化小基站的主要功能是与现网主设备厂家 5GC 实现互联互通，厂区内部署 5G 小站网关，实现对 5G 一体化小站的信令、用户面数据的转发；用户面数据转发至本地 UPF，信令面数据通过专网转发至大网

5GC; 能够识别网络切片。5G 一体化小基站保留 ONU 认证流程不变, 增加 5G 小基站认证、配置流程, 两个流程相互独立, 降低管理的复杂度。

## (四) 网络规划及部署模式

### 1. 网络规划建议

#### (1) 企业(园区)光缆光纤网络建设

在实际的规划和建设过程中, 工业 PON 光分配网(ODN)的设计与规划需要考虑基础设施建设情况、业务密度的分布情况、建筑物类型、地理环境、管道资源, 以及未来业务发展需求等。本规范涉及的工业 PON 的光分配网(ODN)主要面向工业 PON OLT 设备下沉部署到工厂和工业园区的应用场景。总体规划和建设原则如下:

- 1) 充分利用现有的资源, 减少重复投资。如果需要建设新的管道, 管道应该一次安装到位。
- 2) 光缆规划, 如果 ONU 数固定, 推荐将主干配线光缆一次性铺设到位, 并留有维护及扩容余量, 引入光缆按实际需求配置连接。
- 3) 光交箱规划, 对于覆盖面积大, 用户数量多, 可选择设置光交箱, 进行业务收敛, 通常工业 PON 情况下, 一般不推荐设置光交箱。
- 4) 分光器规划, 分光比及安装位置具有灵活性, 可根据业务带宽需求及业务密度灵活设置。
- 5) 光分配网(ODN)结构以树形拓扑为主, 原则上低密度场景采用一级分光方式, 中高密度场景采用二级分光方式。光分配网(ODN)也可以为总线型拓扑, 采用多级非等分分光方式, 但同一链路上串联最多 4 个光分路器; 一般采取 1:32 分光系统, 针对小带宽多点位场景可使用 1:64 或者 1:128 的 2 级分光。

## (2) 企业（园区）5G 无线建设

面向行业用户的 5G 网络规划总体流程如图 7 所示，包含业务需求最小化、产品选型、网络估算、网络仿真、组网设计五个环节。行业客户一般只提供业务需求、园区环境情况、覆盖要求等信息，建设规划交由运营商等建设单位进行实施。

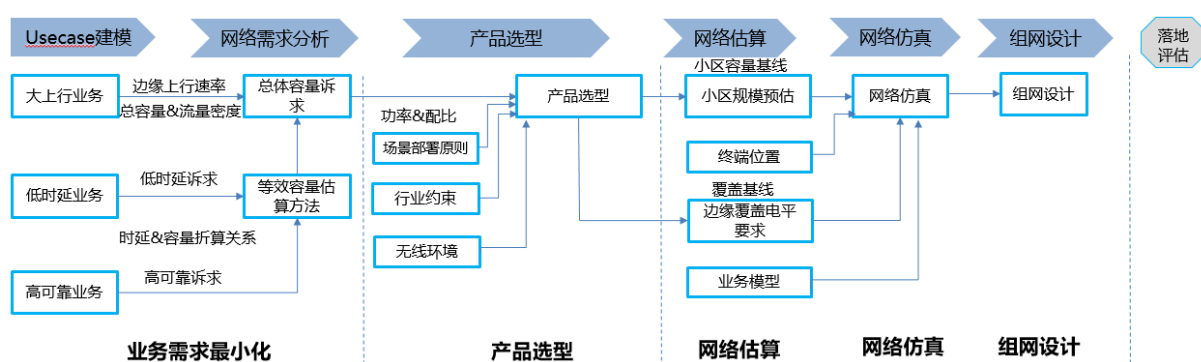


图 7 园区 5G 网络规划流程图

- 1) 业务需求最小化：完成 Usecase 业务模型分析，将业务诉求转换成网络需求。

Usecase 业务模型分析：对某场景下 5G Usecase 案例进行业务分析，将 Usecase 的业务模型转换为无线网络可以度量的指标，如下行/上行速率、时延和可靠性等无线指标，并进行分类；

网络需求分析：toB 场景中可能同时存在低时延、高可靠或大带宽等多类型业务混合的场景，需要将这些业务采用时延容量等效折算方法统一转换成容量需求，估算出某场景下的总体容量需求。

- 2) 产品选型：基于 toB 场景容量需求、场景特征、行业约束、无线特征等多维度确定基站侧与终端侧产品类型。
- 3) 网络估算：基于产品类型、行业终端分布、容量基线做为输入，从覆盖与容量两个维度估算小区规模。

- 4) 网络仿真：以业务模型、终端分布、SLA 要求作为输入，进行网络规划与仿真，评估每个终端 SLA 满足度。
- 5) 组网设计：基于网络仿真阶段规划的站点位置，现场勘测，详细设计基站站高、方位角、倾角；基于业务对容量、时延的要求，设计特性保障方案。

## 2. 网络部署模式

### (1) 模式一：UPF/OLT/MEC 下沉园区

对于大型企业或园区，为确保数据不出园区，应用就近接入等需求，可将 UPF 和 OLT 下沉部署到企业园区内。

企业（园区）部署 5G 和工业 PON 网络的管控系统，从行业客户应用的视角需要提供一个整体的网络管控系统，实现对融合网络的整网管控。

### (2) 模式二：UPF/MEC 共享，OLT 下沉

对于中小企业，UPF 可共享区域大网 UPF，OLT 下沉部署到企业园区，可选用小型的 OLT 设备。

工业 PON 网络的管控系统部署到园区由企业自主管控，5G 网络的管控将由运营商通过 MEC 上分配权限由客户实现部分管控能力。

## 三、工业 PON+5G 融合网络的典型应用

### (一) 应用情况

2022 年 3 月 30 日首届“光华杯”项目申报完美收官，大赛共收到来自全国 31 省超过 3000 个项目申报，如图 8 所示面向垂直行业的项目



申报中，智能制造、智慧医疗、智慧教育、矿山、港口、能源等领域申报项目共计 1262 项目，占总项目比重超过 40%。

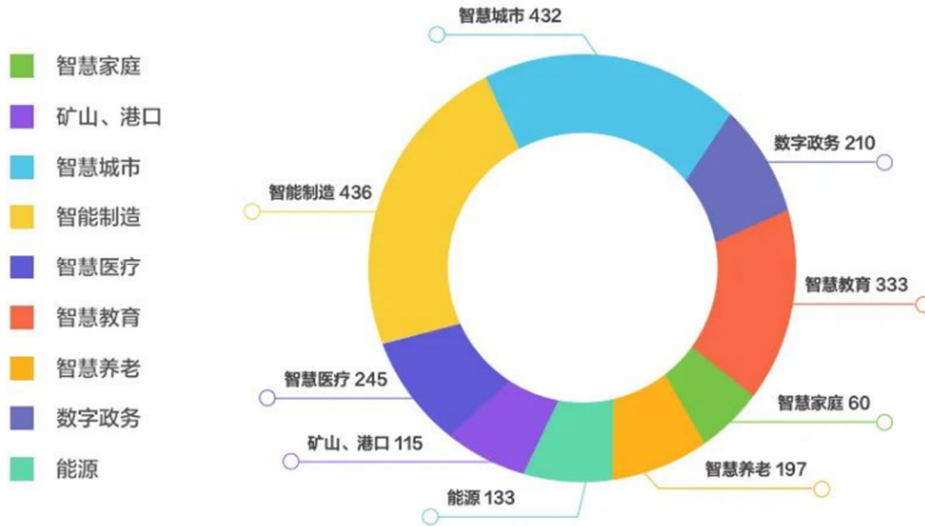


图 8 申报项目所在的应用领域

在行业融合应用专题申报中，如图 9 所示，该专题中工业制造、能源、港口、矿山、交通运输等行业项目占比超过 80%，其中工业制造领域项目达到 436 个。

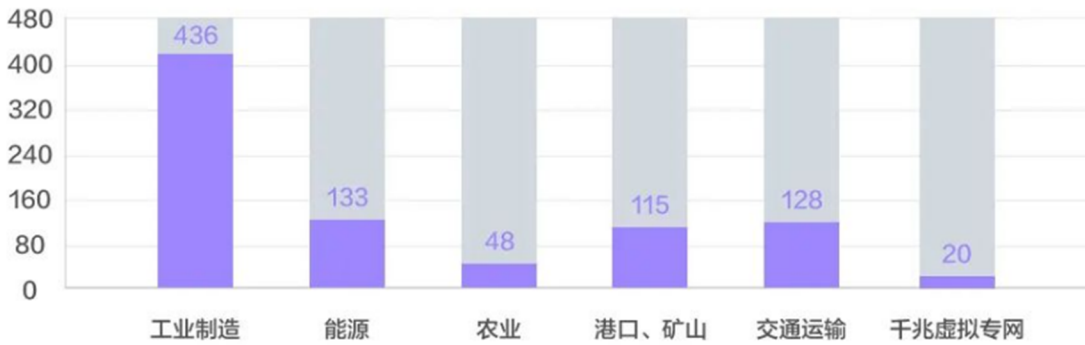
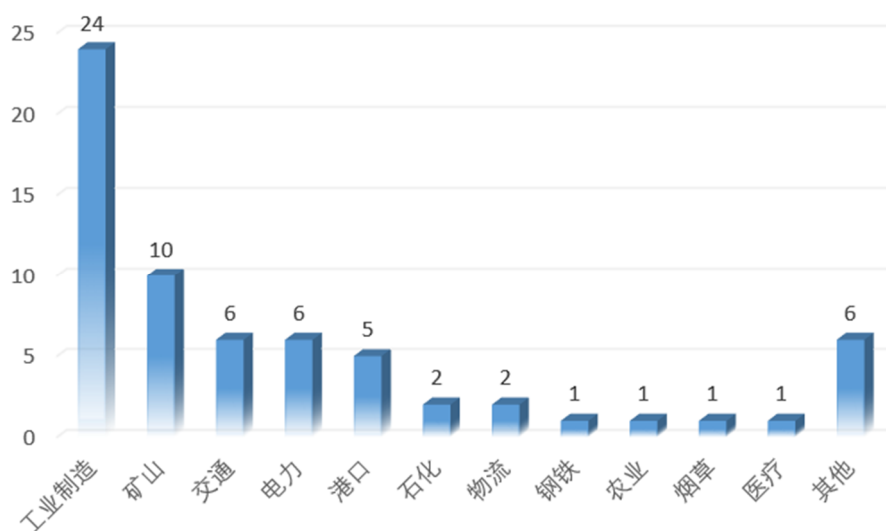
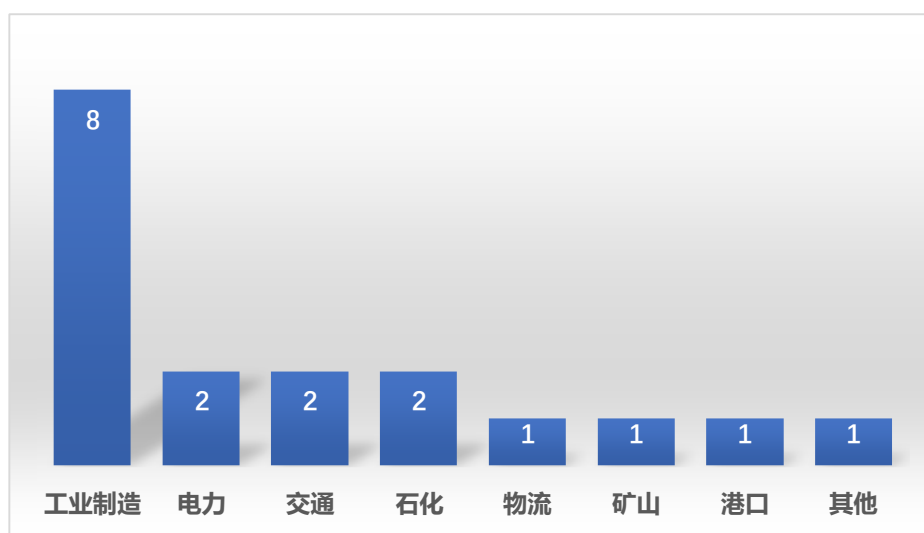


图 9 行业融合项目应用领域

初赛晋级的行业融合项目共 200 个，其中双千兆协同项目 65 个，占比 33%，在工业制造、矿山、交通、电力、港口等场景应用较多，分别占比：37%、15%、9%、9%、8%。



通过复赛晋级决赛的行业融合项目共 51 个，其中双千兆协同项目 35 个，占比 35%，工业制造占比 44%，电力、交通和石化分别占比 11%，物流、矿山和港口分别占比 6%。



通过决赛进入总决赛的行业融合项目共 11 个，其中双千兆协同项目 6 个，占比 55%，工业制造领域 8 个项目占比 73%。

首届光华杯大赛的项目晋级情况来看，面向工业领域的双千兆协同项目优势突出，进而反映对于双千兆的连接需求及创新应用比较突出。

## （二）典型案例

### 案例 1：工业制造-智慧工厂（园区）案例

客户需求：客户建设二期项目需配套网络方案，实现覆盖 72 亩工厂内办公区、生产车间、仓储物流、生活配套、园区环境全覆盖，整网规划满足多类型业务承载。从使用网络的角度，希望新建网络能够提供大带宽、低延时、不丢包、工厂环境下稳定可靠运行、安全性、易管理维护、低故障等特性。并实现了千兆光网和 Wi-Fi、5G 等网络的固移融合贯通协同。

解决方案：采用工业 PON+5G +MEC 构建工厂双千兆组网方案，构建起一张新型的千兆融合全光基础网络，如图 10 所示，满足智慧园区、办公场景、生产场景的网络部署，通过 PON 网络实现有线场景的覆盖，通过 5G+工业 WiFi 实现无线场景的覆盖。通过构建 MEC 平台和企业私有云实现 MEC 边缘计算，计算后的核心数据上传至私有云，实现云边协同。

Alliance of Industrial Internet

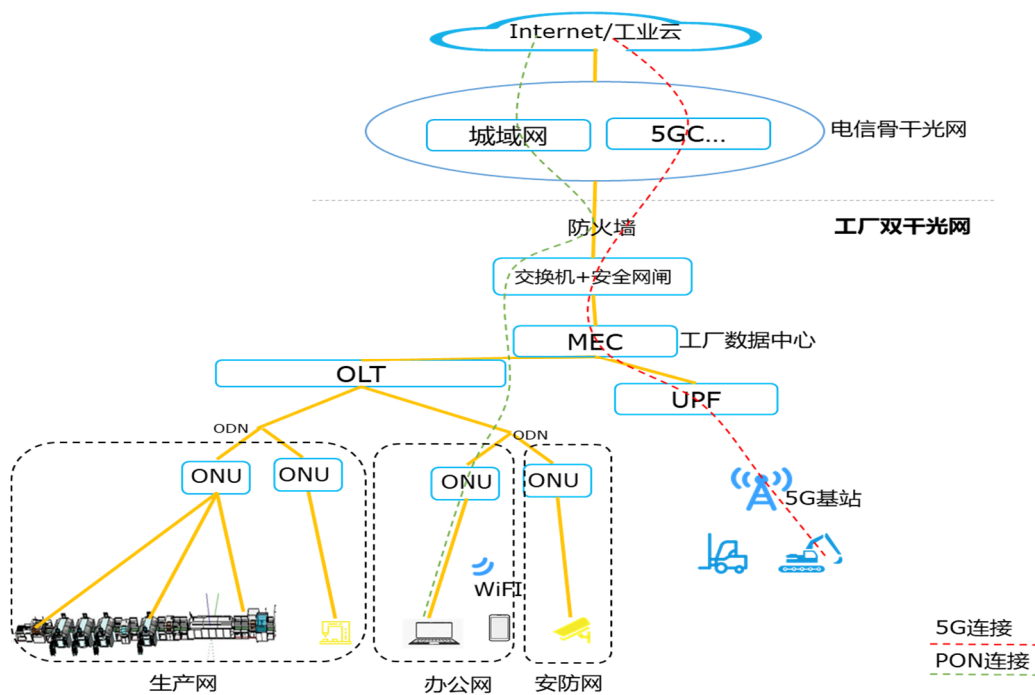


图 10 组网方案

组网特点：

(1) 基础网络通信功能，满足基本的网络数据传输，园区的语音、视频等传输通信功能。数据互联互通，无论是通过光纤有线网络采集的数据还是通过 5G 基站回传的数据都可以无缝漫游。

(2) 立体化网络，多业务类型海量接入能力，网络时延低，高带宽，视频传输、工控信号传输，满足企业生产制造需求。

(3) 网络智能化，就近部署边缘云，智慧算力下沉园区边缘，及时调用云网络资源，低成本实现企业上云。

实施效果：

(1) 工业数据采集及控制：该工厂数字化车间承载网使用 PON 网络作为企业车间的承载网络，OLT 位于企业机房，实现生产设备的实时在线数据采集。

(2) 生产管理，协同办公：该工厂办公网络通过采用 PON 的 OLT 切片实现生产管理和协同办公。同时这两张网通过 PON 的 ONU 放装 Wifi，实现无线办公接入以及生产管理 PDA 等手持设备的无线接入。

(3) 园区安防光网全接入：园区面积大，借助工业 PON 光网广覆盖优势实现了安防类设备的多点位分布。

(4) 生活区域光网全覆盖：该工厂使用面板式 ONU 和普通办公 ONU 相结合，OLT 位于机房，通过无源分光设备实现全宿舍的光网接入满足企业员工在宿舍的生活、娱乐、工作的需求。

(5) MEC 融合实现 5G 专网的固移融合应用：通过构建 MEC 平台和工厂私有云实现 MEC 边缘计算，其中 5G 流量，通过 MEC 内部的分流能力将数据回传至奥云德内部网络及部署于 MEC 计算资源内的 AI 视频分析系统、AR 远程协助系统、AGV 调度系统、数据采集 SCADA 平台、C2C 控制中心，实现数据不出园区，计算资源边缘下沉。

(6) 应用后经济效益显著：PON 相较于传统以太网经济效益节省 40%以上。项目竣工投产后，将提高生产效率 25%、降低运营成本 25%、缩短产品生产周期 35%、降低产品不良率 25%、能源利用率提高 15%，通过 MES 和 PDA 的联动整体产线的自动化运行。整体生产线投产以后，从原来的 10 人，减少为 1 人（终检）。

## 案例 2：石油化工-安全生产案例

客户需求：石油化工场所往往拥有庞大的油气管线系统，安全生产管理是化工企业管理的重中之重。传统的日常管线巡查不但耗时耗力，且很难及时发现泄漏情况，往往是对环境，人员或财物造成伤害后才被动发现问题。因此，利用最新的科技手段，采用智能化物联网的技术，



与 UPF 设备外联。

(2) 5G 定制网：将 UPF/MEC 下沉到工厂，实现工业数据不出厂，5G 网络管控能力开放给工厂，提升 5G 专网的灵活性和便捷性。

(3) 统一运营管理：借助开放给企业的自服务能力平台，实现有线无线融合专网的全局管理、可视化及配置。

(4) 5G 一体化小基站：高度集成 5G 整个基站系统和 WiFi，可以实现对现有工业 wifi 终端、未来 5G 终端的综合接入，简化传统 5G 网络的室分系统，节约网络部署成本 30%。

实施效果：

(1) 优化布线方案：降低 80%布线空间、30%综合布线成本，网络运维效率提升 60%；

(2) 降低生产成本：预计水电气成本可降低 20%，降低成本 240 万/年；

(3) 降低售后维保成本：减少售后人员出差次数，创新售后服务模式，成本可降低 30%以上；

(4) 通过本平台，炼化内部的管道、阀门故障识别准确性提升 13.5%，维护及时性提高 20%，整体作业效率提升 37%管道、阀门故障提前预警率提升 12%，在罐体、管道、阀门故障产生前将风险消除，减少了客户因阀门失效而产生的安全、效率和质量经济损失。

#### 四、工业 PON+5G 融合发展趋势

满足行业用户建网和用网需求，工业 PON+5G 融合演进的路线已经清晰，处于发展初期，体现在融合技术、融合设备和融合实施等方面还不

够成熟，亟需产业链伙伴联合发力，统一认知、加快研发、促进成熟。

持续推动技术发展，聚焦“三重”，即重点行业、重点企业、重点场景，持续提升工业 PON+5G 融合技术及融合产品能力。一是探索工业 PON 网络或 5G 网络向下（工业现场、工业控制）和向上（云平台、工业应用）延伸及技术融合。二是持续推动有线无线融合，包括数据、组网、设备等方面的深度融合。三是研制工业 PON+5G 融合网络的行业标准。

持续推进产业协同，工业互联网网络实施策略以集成解决方案为主，一般包含工业网络、工业平台、数据中心和工业互联网安全等方面，在集成解决方案中需要通过部署融合网络实现多类型终端接入和多协议数据互通，融合企业多类型业务承载实现对部署在公有云和边缘云上的工业应用实时协同调用，通过数据中心大数据分析实现智能化。总而言之，围绕工业数据制定集成方案，解决工业数据互联、互通和互操作的技术难题，是产业链为止共同努力的目标，在实现目标的过程中，产业链协同实现技术、设备、应用协同优化，实现成本和效能的优化平衡。（完）

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