

---

# 多业务工业互联网光传输系统

## 上海邮电设计咨询研究院有限公司

---

### 1 概述

#### 1.1 背景

信息化、工业化两化融合的概念自十六大提出以来，在国民经济和社会信息化发展中占据重要及基础地位，随着我国进入“十三五”时期，为实现“工业 2025”

战略，政府提出了大力推进信息化和工业化深度融合的要求。两化深度融合的目的是借助企业信息化技术，引入“智能制造”、“智能产品”等新概念以及“云计算”、“大数据”、“物联网”等信息化工具，将信息化与企业的研发、制造、销售、管理等各个方面进行深度融合，从而完成从“企业信息化”向“信息化企业”的彻底转型，继而带动整个中国工业从根本上改变结构和格局。在这之前，党中央、国务院已先后出台《中国制造 2025》、《关于积极推进“互联网+”行动的指导意见》、《关于深化制造业与互联网融合发展的指导意见》、《国家信息化发展战略纲要》等系列文件。

新一代信息技术产业作为国家战略性新兴产业，其技术创新体现在硬件技术与软件技术的融合发展、产品和内容的融合不同层面；其本质是需求层次不断升级推动技术持续进步，不同程度、不同组合方式、不同应用领域的融合都会催生出新的产品和新的应用，形成新的市场机会。而当前国内外在工业环

境下的信息传输，仍处于传统低速专用网络向工业以太网的演进过程中。据分析数据统计，2016 年全球工业以太网占据市场份额 38%，年增长率达到 20%。而传统现场总线仍以 58% 的份额主导工业网络信号的传输，但年增长率萎缩到 7%。工业 4.0 和工业物联网的发展趋势，大大增加了对于工业以太网传输的需求。未来工业级以太网传输是智慧工厂的神经网络，是有效支撑工业 4.0 发展的基础设施。

## 1.2 实施目标

当前国内正在进行建设的“智慧城市”如管道连廊智能化改造，其市场规模也相当惊人，据估计有 17 万亿元的建设规模。交通行业、电力航油、石油化工、冶金、煤炭、水处理等各种行业对工业级以太网传输设备都有着大量的需求。假设网络设备占有上述市场的 1% 细分份额，总体也有上千亿元的规模。

因此，针对工业互联网和行业物联网对于网络传输系统的需求，在具有存在必要性和发展前瞻性的基础之上，研究开发一套多业务工业物联网光传输系统，将高速以太网和低速现场数据总线等有效融合，配以功能完善的网管和运维系统，并具有工业级的安全可靠性和优越的实时性，可以满足工业 4.0 和物联网建设对基础传输系统的要求，从而提高生产效率，大大促进生产力的提升和推动社会经济发展进步。

## 1.3 适用范围

针对工业以太网传输需求不断提高，同时传统总线仍占有一席之地工业和行业物联层传输环境下，提供适用于复杂信

息传输环境的解决方案，面向市政、交通、电力、化工、冶金、煤炭、水利等各行业及各类工厂、工业园区等，以满足如下应用场景：

1) 传统网络传输设备对工作环境有较高的要求，如温湿度、防静电装饰等，而工业环境下的网络层设备存在接口单一，无法满足以太网传输等缺点。因此，通过采用工业级元器件满足宽温工作范围，采用专门的防雷、防静电等芯片和良好的电磁兼容性设计，使网络传输设备具备抗电磁干扰的能力。而光纤上的信号传输更是没有电磁干扰现象、传输距离远、传输带宽大；

2) 低速数据包括数据采集、传感器检测、状态控制等数据，其信息量低，一般速率为几 kbit/s，甚至更低，但是对实时性和可靠性要求高。而以太网数据速率较高，当前绝大多数为百兆和千兆接口，传输各种视频、音频及其它数据，数据量大，统计复用，实时性和可靠性较差。因此，可以通过专门设计的时隙复用方式，兼顾低速数据和以太网数据的特点，保证两种数据的有效传输。除此之外，通过 FPGA 芯片编程，可以把低速数据打包到以太网帧格式中，完成低速数据到以太网的转换，实现数据的融合互通；

3) 在工业环境或其他对可靠性要求高、组网复杂的情况下，为了防备设备或光纤故障导致业务中断，本系统支持快速光纤自愈环网，自动切换时间可以达到 30ms 以下，同时可采用多样的行业组网形式，如星型、链型、环型组网。

4) 通过 WEB 方式的管理界面，图形化显示网络拓扑和设

备状态;支持 SNMPv2 标准协议,易于第三方集成开发网管系统,确保未来的可扩展性。

本解决方案可满足一个区域性工业园区的需求,也可接入到通信运营商网络从而实现跨地域性的大型工业园区或厂区的应用需求。另外,对于高速公路、桥梁、隧道、城市交通、机场、以及管廊项目,其均可作为物联层的光纤系统解决方案。

#### 1.4 在工业互联网网络体系架构中的位置

解决方案设备提供以太网接口及低速数据接口,连接智能机器;上联光口可以和其它接入设备组成链形或环形网,通过光纤再与传输层设备的下联端口连接,实现接入层设备与传输层设备的互通光口可上联工厂控制系统、工厂云平台等,如下图中 1 所示。保证了接入层传输可靠性、实时性和可扩展性,节省了串口转换服务器等设备,减少了设备投入成本,降低了单点故障率。

传输层借鉴电信级通信光网络,形成光纤自愈环网,满足区域性工业园区的内部网络需求,也可接入到工厂外部网络实现跨地域传输,如图中 7 所示。当节点或光纤发生故障时能够在 30ms 内完成倒换保护,避免了网络信息传输中断和丢失,保证设备持续使用性。

同时提供功能完善、方便易用的汇聚层网络管理系统,对于包括光线拓扑、通断、设备供电、温度以及各种业务数据的状态均可知,在进行可靠传输的同时,更可传递丰富和完善的物联网信息,为未来物联网应用平台的数据展示、大数据分析和挖掘提供更加全面的数据信息。

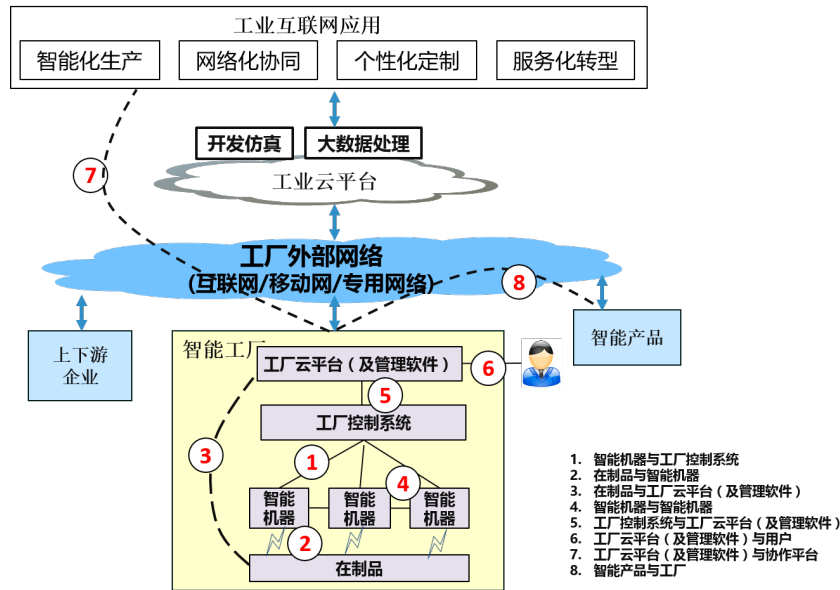


图 5-1 工业互联网互联示意图

## 2 需求分析

随着工业现场设备的智能化以及控制方式由单点走向协同，并且工业控制由工厂应用发展到市政、安全、金融等更广阔的物联领域，现场设备之间需要进行实时、快速、可靠以及远距离的通信，而大量采集、传输的数据更呈现多样性趋势(包括控制信号、检测信号、视频、音频等)，传输数据的带宽要求也逐渐由窄带转向宽带，以上这些网络需求对于用于工业网络和智慧城市、综合管廊、城市交通等行业网络的传输设备提出了升级改造的要求，具体体现在：

- 1) 接口(多业务，兼容多接口)
- 2) 可靠(独立、自愈)
- 3) 安全(各种业务数据隔离)
- 4) 服务(并非简单的通道的传输服务，要能提供各种业务汇聚，包括网络业务汇聚、低速率数据汇聚等)
- 5) 联动(设备自身异常或者外部告知异常出现，除了上报中

心，现场要提醒及联动)

工业以太网传输设备需要满足工业现场苛刻的环境要求，保证通信的实时性、可靠性、安全性，需要能够达到较高的防尘、防水、抗干扰等级。当前普通商业级以太网设备应用相当普遍，价格便宜，产品成熟，但是不能适应工业级环境对设备的严格要求，设备的安全性和可靠性较低，不能用于工业生产环境中。此外，大部分厂家只是在原有商业级以太网交换和传输设备上做些结构和高低温等方面的简单改进，远远不能满足工业信号采集和控制对实时性和可靠性的要求。并且，传统现场总线技术仍然有其生命力，将长期与以太网技术共存，现有以太网设备对原有接口的接入能力缺失。

为解决以上问题，国内外厂商绝大多数都是简单在商业级以太网设备的基础上，通过采用工业级温度范围的元器件，提升设备工作温度范围；通过以太网生成树协议进行设备和链路保护；采用网关、转换器等方式转接到以太网。这些设备仍然存在较大缺陷，如：(a) 缺乏对工业环境中各种低速数据工业接口的有效支持，外置转换器增加了设备故障点，大大增加了网络复杂度，加大了网络建设成本和维护成本；(b) 带宽不足，设备干线带宽为百兆到千兆；(c) 保护倒换时间过长；(d) 没有统一的运维和网管系统；(e) 实时性欠佳等。

当前从事工业以太网相关研究开发生产的企业主要分两类，一是国外解决方案提供商，其依靠自有研发和生产实力，从协议标准等方面设置独特性，自成系统，与其它厂家的兼容性较差；二是以国内中小型产品供应商，他们往往设备简单，质量参

差不齐，功能缺失，一般都没有网管系统，更不提供多业务接口。

### 3 解决方案

#### 3.1 方案介绍

本项目最终提供一种面向工业互联网、物联网、大数据发展必备的多业务工业互联网光传输系统。系统定位工业和行业物联层，提供多样性接口，包括总线、低速数据、以太网、模拟量、数字开关量、无线等满足各种物联网传感器的数据接口。同时系统采用各种类数据时分复用、独立通道的方式进行传输，不但满足各类业务数据传输互不干扰性和独立性，并且满足了低时延、高传输效率以及传输可靠性的要求。

系统采用光纤为传输载体，最大限度的减少外部环境的干扰。利用电信级通信的光传输构架的先进性，结合工业制造的特点，有效的提升工业制造过程中对于通信系统的高规格需求。通过协议转换算法，使得低速数据附载到光传输上，并保障数据无丢失与低时延，从而满足工业企业和行业用户对高速以太网和低速数据传输的需求，并能结合通信运营商的传输网络，作为其解决“最后一公里”的组网方式，大大节约了设备的投入成本，减少了交换环节，降低了可能的故障环节。系统将有效的促进工业 4.0 网络的融合建设和工业互联网业务的开展。

通过功能完善、方便易用的网络管理系统，监控光纤拓扑、通断、设备供电、温度以及各种业务数据的实时状态。在保证可靠传输的同时，更提供丰富和完善的物联网信息的传递，为应用平台的数据展示、分析和挖掘提供更加全面的数据信息。

### 3.2 系统架构

系统整体架构分为接入层、中间传输层和汇聚层三个组网层次。

接入层解决最基本的数据采集问题，除了支持通用的一些行业设备协议外，计划引入工信部及中国电信互联网加应用基地最新制定的采集规范。接入层设备一般置于用户远端设备附近，负责直连远端设备，如数据采集传感器、可编程机床控制器、网络摄像机等。每台接入层设备可以提供 1 到 4 路低速数据业务，具体类型可以根据用户实际需求而灵活配置，可选 RS-485、RS-232、CAN-BUS 等接口类型。同时接入层设备还提供 4 路 100Mbit/s 以太网接口，用于接入以太网设备。接入层设备提供 2 个上连光口，每个速率 1.25Gbit/s，可以环形或链形组网。

传输层则负责把接入层上传的数据进行中继传输，可以实现远距离、大容量传输和自愈环网的自动保护切换。中间传输层提供 4 个到 8 个下连 1.25Gbit/s 光口(兼容千兆以太网光口)或千兆以太网电口，用于连接接入层设备或用户远端的千兆网口设备。同时提供 2 个上行光口，速率可选 2.5Gbit/s 或 10Gbit/s。

汇聚层处于网络的核心，可以接收和汇聚各个接入设备的业务数据，并汇聚到千兆或万兆接口，再连接服务器、计算机等用户中心设备。汇聚层设备采用机架插卡结构设计，支持 12 个业务槽位，2 个核心交换槽位，双电源 1+1 备份。

业务卡有 8 路千兆电口卡、6 路千兆光口卡。



### 3.3 网络拓扑设计

接入层设备:连接用户的远端设备,如传感器、机床控制器、生产线机器人、网络视频摄像机等设备,把用户的低速数据和以太网数据进行时分复用后,转换为光信号,通过光纤传送给上层设备。反向完成光信号到电信号的转换,时隙信息解析,把低速数据和以太网数据分别送给相应用户设备。

中间传输层设备:下联多个接入端设备,所以需要较大的网络带宽,可选 2.5Gbit/s 或 10Gbit/s 光纤带宽,支持双光口,可以进行环形组网,支持快速自愈环网保护倒换。

中心汇聚层设备:接收和汇聚通过多个中间传输层自愈环网上行的网络数据和专用低速数据,并通过背板汇聚到核心交换板。核心交换板可以把所有数据汇聚为 2 个千兆电口或万兆光口输出。汇聚输出口可以设置为 1+1 链路保护。系统组网结构如图 5-2 所示。

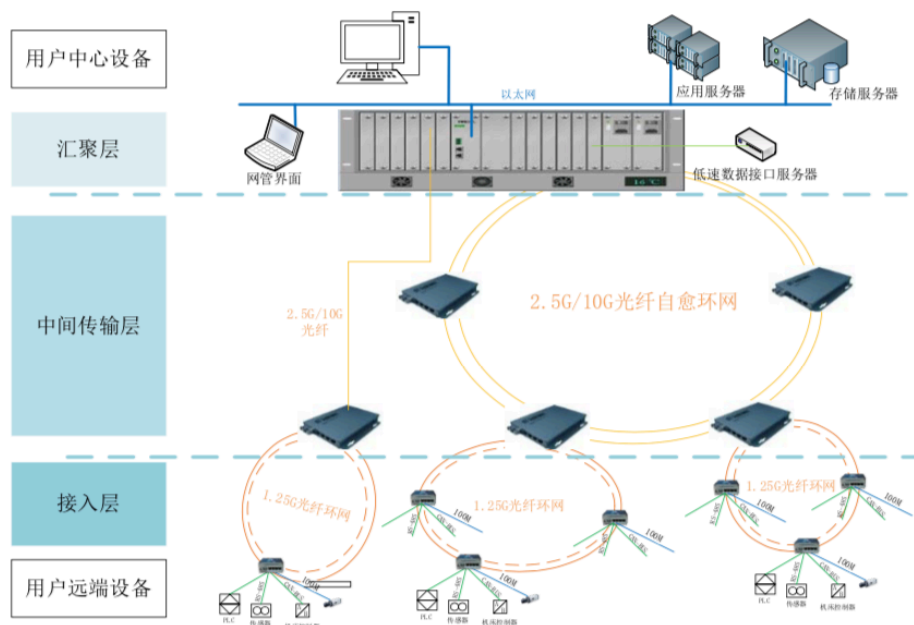


图 5-2 系统组网结构

### 3.4 功能设计

#### 3.4.1 硬件设备

1) 接入层设备根据端口数量不同分为多款。其信号处理原理相同，不同之处在于提供给用户的以太网接口和低速数据接口的数量。低速数据接口可以灵活配置为 RS-232、RS-485、通用输入输出接口 GPIO、开关量或 CAN-BUS 接口。接入设备提供两个上联光口，速率 1.25Gbit/s，可以和其它接入设备组成链形或环形网，通过光纤再与中间传输层设备的下联端口连接，实现接入层设备与传输层设备的互通。接入层设备功能框图如下图所示。

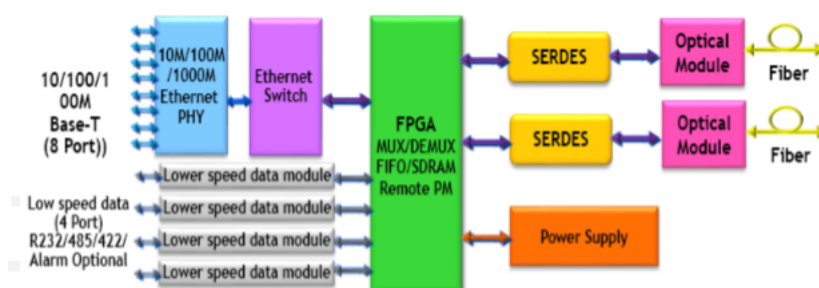


图 5-3 接入层设备功能框图

2) 传输层设备硬件分为 2.5Gbit/s 和 10Gbit/s 两款，分别支持 2.5Gbit/s 光纤自愈环网 ISR-2.5G 和 10Gbit/s 光纤自愈环网 ISR-10G。其中 ISR-2.5G 设备含有 2 个 2.5Gbit/s 光纤上联接口、4 个 1.25Gbit/s 光纤下联接口和 4 个千兆电口；ISR-10G 设备含有 2 个 10Gbit/s 光纤上联接口、4 个 1.25Gbit/s 光纤下联接口和 4 个千兆电口。传输层设备的 1.25Gbit/s 光纤下联接口兼容普通千兆以太网光口。

3) 汇聚层设备支 2 个或 4 个万兆光纤汇聚接口，能提供高达 48 个 1.25Gbit/s 光口(兼容千兆以太网光口)或电口的连接。

所有接口统一进行线速交换。接入层设备上传的低速数据在此设备进行解析，并转换为低速数据接口输出，或者封装为 TCP/IP 数据，通过网络进行传输到专门的服务器，再进行信号的处理。

汇聚层设备采用机架式结构，共有 12 个业务插槽，2 个核心交换槽，双电源 1+1 备份。业务插槽提供下联光口或电口，与传输层设备光口或用户千兆电口设备相连。核心交换板实现所有业务的汇聚和互联互通，同时提供专用的网络管理百兆以太网接口和控制台接口。

### 3.4.2 软件平台

本项目的网络管理系统，用于进行整个光纤网络系统的配置、设备状态监控和网络故障管理。

整个网管系统的软件包括设备板卡级的板载控制和执行软件、设备核心交换控制卡上的控制管理软件、服务器上的管理软件和用户客户端软件。

板载嵌入式软件和核心交换控制板的软件基于 Linux 开发。Linux 系统具有实时性好、技术成熟稳定的特点，可以满足本项目对实时性和可靠性的要求。

本项目网管软件可以提供基于 WEB 的管理界面，用户通过浏览器登录网管系统即可对整个网络进行全面管理。同时网管系统还支持标准的 SNMPv2 协议，方便第三方软件的集成和接入管理。

具体管理功能包括：

- 网络拓扑的自动发现和管理机架及插卡的管理

- 设备配置管理
- 故障管理

对于故障信息，网管系统会生成相应的故障告警并上报给系统管理者，以使用户及时采取维护措施。当网络设备发生变化时，如新的板卡插入机架、新的远端设备接入网络或有新的用户设备上线，网管系统也会生成相应的通知消息。

系统故障告警种类包括：

- 电源掉电告警
- 板卡过热告警
- 板卡下线
- 网络端口下线
- SFP 光模块移除
- 光口端口连接
- 远端接入设备下线
- 远端接入设备掉电
- 光网络主环故障
- 光网络主环断开
- 光网络次环故障

### 3.5 安全及可靠性

1) 借鉴电信级通信光传输组网架构，提供更高效的多接口多业务传输通道。

组网结构采用自愈环网，当节点或光纤发生故障时能够在30ms内完成倒换保护，基本避免信息传输中断和丢失的可能性，保证设备持续可用。

系统支持以太网接口和低速数据接口同时接入，适用各种原有网络布线情况，同时系统支持 1.25Gbit/s 光口、2.5Gbit/s 光口或 10Gbit/s 光口上传。对于不同规模网络可以灵活选择采用全部或部分接入层、传输层和汇聚层的设备。

系统支持星型、链型、环型等拓扑，组网灵活，可用于工业现场、高速公路、城市管廊等环境中，统一传输低速检测信号和大带宽的视频等网络数据。

2) 多接口光传输设备的使用降低了整个网络单点故障发生的概率。

本系统中研制开发的多接口光传输设备直接在设备上提供低速数据接口，省去了串口转换服务器等转换设备，大大减少了传输网络中接口转换设备的数量，节约了设备的投入成本，同时也减少了可能的故障环节，降低了网络的单点故障率。

3) 采用时分复用方式进行数据传输，极大程度确保低时延和传输可靠性。

系统对于各类数据，采用时分复用、独立通道的方式传输，一方面满足各数据业务传输的独立性，互不发生干扰，以确保业务中最重要的数据不会丢失；另一方面也满足了低时延、高传输效率和高传输可靠性的要求。

其中具体实现技术有：

1) 采用了高速可编程 FPGA 芯片和高速工业级交换芯片相结合的方式，FPGA 处理工业控制用信息，工业级交换芯片处理以太网数据；

2) 物理层通过 FPGA 对低速数据接口直接处理、打包封装、

时隙复用，不受以太网数据流量的影响，有效保证了低速数据的实时性、可靠性；

3) 自主设计的低速数据业务复用协议，避免了把低速数据封装为普通以太网数据导致的低效率和易丢失的风险。



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