

项目 1

走进工业互联网

学习目标

1. 了解网络、IT 网络、OT 网络的概念。
2. 了解工业互联网的由来。
3. 识别网络类别和网络结构。
4. 掌握工业互联网与 IT 网络、OT 网络的关系。

情景故事

西南地区有一家电池生产企业，由于目前电池生产线的智能化程度不高，企业总经理安排生产部经理具体研究提高电池生产线智能化程度的方案。生产部李经理组织相关技术人员走访多家智能制造领军企业，了解到要提升电池生产线的智能化程度，就必须对现有生产线进行改造升级，实现工业设备互联互通。

项目描述

深入理解工业深度互联的内涵，能够描述工业互联网的网络架构及典型应用场景。

1.1 网络

1.1.1 网络的概念



【任务目标】

了解广义上网络的概念，掌握工业互联网中网络的概念。



【任务准备】

浏览阿里云帮助中心，深入了解有关阿里云网络、云上网络的设计介绍。

这些复杂的社会网络所涉及的领域有物理、工程、化学、生物、医学、社会经济，甚至包括艺术领域，它们对商业和信息应用乃至我们的日常生活，都产生了显著而深远的影响。那么网络到底是什么呢？请提前查阅计算机、电学、数学等方面网络的概念。



【知识链接】

网络在数学上指的是一种图，一般专指加权图。网络除了数学定义，还有具体的物理含义，即网络是从某种相同类型的实际问题中抽象出来的模型。在信息通信领域，网络是信息传输、接收、共享的虚拟平台，通过它把各个点、线、面、体、时间、空间的信息联系在一起，从而实现对这些资源的共享。另外，网络一词还可用于电信网络、计算机网络、生物网络、认知和语义网络及社交网络等复杂网络的学术领域。

可见，由节点（或顶点）表示的不同元素或参与者，以及元素或参与者之间的连接（或边缘）都可以称为网络，即网络是由若干节点和连接这些节点的链路构成的，表示诸多对象及其相互联系。

在工业互联网中，把电力系统中由若干元件组成的用来使电信号按一定要求传输的电路或这种电路的部分叫作“网络”。网络是实现工业全系统、全产业链、全价值链泛在深度互联的基础。

网络是由若干个节点（Node）和连接这些节点的链路（Link）组成的，节点可以是终端设备（如计算机、机器设备、仪器等），也可以是数据交换设备（如集线器、交换机、路由器等）。网络普遍存在于军事、工业、教学、家庭、公司集团中。在网络管理中有着严格的管理秩序。网络及其部件所应该完成的特定功能就是网络体系结构。这些特定功能究竟由何种硬件或软件完成，是依体系结构而定的。

在工业互联网中，也将工厂内的各种要素接入工厂内网，包括人员（如生产人员、设

计人员、外部人员)、机器(如装备、办公设备)、材料(如原材料、在制品、制成品)、环境(如仪表、监测设备)等;将工厂外的各要素接入工厂外网,包括用户、协作企业、智能产品、智能工厂,以及公共基础支撑的工业互联网平台、安全系统、标识系统等。



【任务实施】

在工业互联网中,网络的定义是什么?请结合一个具体工业互联网案例,说明网络应用在哪些场景。

1.1.2 网络的分类

扫一扫
看微课



【任务目标】

了解网络的不同分类方法。



【任务准备】

前面提到了网络和工业互联网,如何对不同功能的网络进行分类呢?请大家查阅相关资料,了解网络按地理分布范围、拓扑结构、传输介质、通信方式、不同用途等方式进行分类的情况。对本校的网络环境进行调研,了解本校网络的拓扑结构和传输介质。



【知识链接】

从不同的角度对网络有不同的分类方法,每种网络名称都有特殊的含义。通过几种名称的组合或“名称+参数”可以看出网络的特征,如千兆以太网表示传输速率高达千兆的总线型网络。了解网络的分类方法和类型特征是熟悉网络技术的重要基础之一。

(1) 按网络的地理位置分类:局域网、城域网、广域网、个人局域网。其中,局域网(Local Area Network, LAN)一般限定在较小的区域内(小于10km的范围),通常采用有线的方式连接起来;城域网(Metropolitan Area Network, MAN)的规模局限在一座城市的范围内(10~100km的范围);广域网(Wide Area Network, WAN)跨越国界、洲界,甚至覆盖全球;无线个人域网(Wireless Personal Area Network, WPAN)就是在个人工作的地方把个人使用的电子设备(如便携计算机等)用无线技术连接起来的网络,其范围在10m左右。局域网和广域网是两种非常受欢迎的网络结构,局域网是组成其他两种类型的网络

的基础，城域网一般加入广域网，广域网的典型代表是 Internet，而工业互联网是整合了这几种网络的复杂网络。

(2) 按传输介质分类：有线网、无线网。其中，有线网一般采用同轴电缆、双绞线、光纤来连接；而无线网由于覆盖范围、传输速率和用途不同，可以分为无线广域网、无线城域网、无线局域网、无线个域网和无线体域网。

同轴电缆具有内部导体，内部导体被绝缘层围绕，绝缘层周围具有导电屏蔽层。同轴电缆组件易于安装且非常耐用，但其抗干扰能力差；同轴电缆的短距离传输速率高于双绞线，但在进行长距离传输时，使用同轴电缆时信号会丢失，并且在高使用率期间，宽带网络中的速率波动较大。

双绞线是常见的联网方式。它价格便宜，安装方便，但易受干扰，传输速率较低，传输距离比同轴电缆要短。双绞线具有消除干扰的特性，因此适用于短距离的数据传输和语音基础设施。

光纤网也是有线网的一种，采用光导纤维（光纤）作为传输介质。光纤传输距离长、传输速率高，普通光纤就可达到 10Gbps 以上的传输速率，在实验室中，单条光纤的最高传输速率已达到了 26Tbps，光纤抗干扰性强，不会受到电子监听设备的监听，是高安全性网络的理想选择。不过光纤价格较高，且需要高水平的安装技术。

(3) 按网络的拓扑结构分类：星型网络、环型网络、总线型网络、树型网络、网状网络。

星型网络结构（Star Topology）又称集中式拓扑结构，因集线器或交换机连接的各节点呈星状（也就是放射状）分布而得名。在这种拓扑结构的网络中有中央节点（集线器或交换机），其他节点（工作站、服务器）都与中央节点直接相连。星型网络结构如图 1-1 所示。

在环型网络结构中，各节点通过通信线路组成闭合回路，数据只能单向传输，信息在每台设备上的延时是固定的，特别适合实时控制的局域网系统。环型网络结构就像一串珍珠项链，其上的每台计算机就是项链上的一颗珠子。环型网络结构如图 1-2 所示。

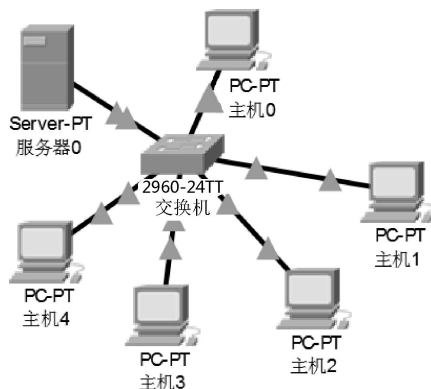


图 1-1 星型网络结构

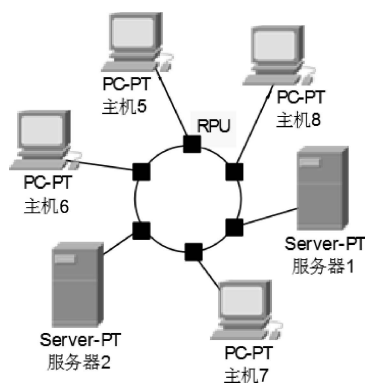


图 1-2 环型网络结构

总线型网络结构是指将网络中的所有设备通过相应的硬件接口直接连接到公共总线

上, 节点之间按广播方式通信, 一个节点发出信息, 总线上的其他节点均可“收听”到。总线型网络结构就像一片树叶, 树叶的脉络有一条主干线, 主干线上面有很多分支。总线型网络结构如图 1-3 所示。

树型网络结构是一种层次结构, 节点按层次连接, 信息交换主要在上下节点之间进行, 相邻节点或同层节点之间一般不进行数据交换。树型网络结构如图 1-4 所示。

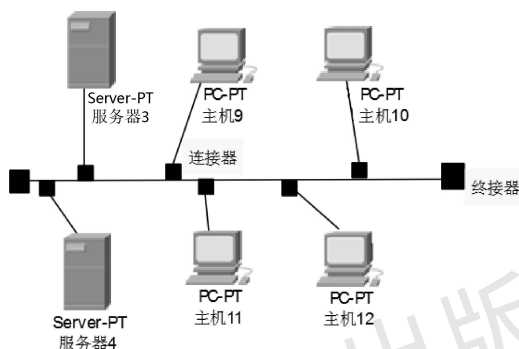


图 1-3 总线型网络结构

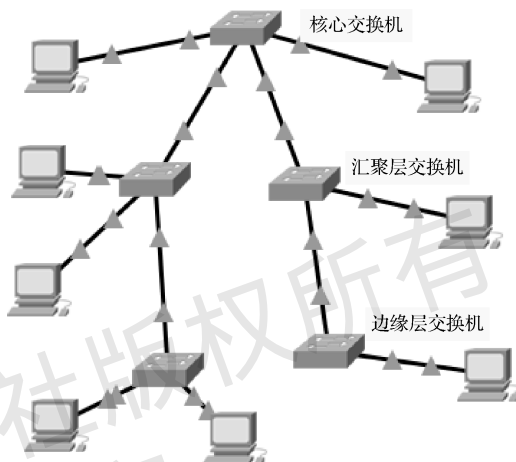


图 1-4 树型网络结构

网状网络可分为“全网状结构”和“半网状结构”两种。所谓“全网状结构”，是指网络中任何两个节点之间都是相互连接的。所谓“半网状结构”，是指网络中并不是每个节点都与网络的其他所有节点连接，可能只是一部分节点间有连接。网状结构又称作无规则结构，节点之间的连接是任意的，没有规律。这种结构在广域网中得到了广泛应用，它的优点是不受瓶颈问题和失效问题的影响。由于节点之间有许多条路径相连，因此可以为数据流的传输选择适当的路由，从而绕过失效的部件或过忙的节点。这种结构虽然比较复杂，成本也比较高，提供上述功能的网络协议也比较复杂，但是它可靠性高，因此仍然受到用户的欢迎。

(4) 按通信方式分类：单播网络、组播网络、广播网络。

单播是指封包在网络传输中目的地址为单一目的地址的一种传输方式。每次只有两个实体相互通信，发送端和接收端都是唯一的、确定的。它是现今应用最为广泛的网络通信方式，通常所使用的网络协议或服务大多采用单播传输，如一切基于 TCP 的协议。

组播也叫多播，是指把信息同时传递给一组目的地址。它的使用策略是最高效的，因为消息在每条网络链路上只需要传递一次，而且只有在链路分叉的时候，消息才会被复制。

广播是“一对所有”的通信模式，网络对其中每一个源地址发出的信号都进行无条件复制和转发，链路中的所有地址都可以接收这个信息（不管是否需要），因为不用进行路径选择，所以其网络成本很低廉。在数据网络中也允许广播存在，但其被限制在二层交换机的局域网范围内，禁止广播数据穿过路由器，防止广播数据影响大面积的数据节点。

(5) 按网络的使用目的分类：共享资源网、数据处理网、数据传输网。其中，共享资源网以资源共享为主要目的，使用者可共享网络中的各种资源，如文件、扫描仪、绘图仪、打印机及各种服务，Internet 是典型的共享资源网；数据处理网是用于处理数据的网络，如科学计算网络、企业经营管理网络等。数据传输网主要是用来收集、交换、传输数据的网络，如情报检索网络、工业管理用网络等。目前各种网络的使用目的都不是唯一的。

(6) 按逻辑功能分类：通信子网和资源子网。通信子网是指网络中能够实现网络通信功能的硬件和其软件的集合，通信设备、通信协议、通信控制软件等都属于通信子网，负责传输信息，如网桥、路由器、网卡、蓝牙设备、Wi-Fi 设备等。资源子网是指网络中实现资源共享功能的设备及其软件的集合，主要负责全网的信息处理和数据处理业务，向网络用户提供各种网络资源和网络服务，如计算机系统、终端、终端控制器、联网外设、各种软件资源与信息资源等。



【任务实施】

请观察学校机房，分别从地理位置、拓扑结构、通信方式、传输介质、使用目的 5 个角度分析学校机房采用的是哪类网络。

1.1.3 网络的作用



【任务目标】

了解网络在整个工业互联网中的作用。



【任务准备】

参观工业互联网网络实训室或查阅青岛双星轮胎工业有限公司的双星胎联网“智慧云”平台创新应用案例，了解工业以太网、工业无线网、现场总线等典型网络系统，思考如何解决工业系统的网络化问题。



【知识链接】

航天云网是中国航天科工集团基于云制造所提出的理念、模式、技术手段和业态，研究开发的一种“云制造系统”平台。目前航天云网平台已经在工业智能云系统工业互联网平台上开发布置了云制造支持系统，构建和涵养了以工业互联网为基础的云制造系统产业

集群生态，开发了“三朵云”——“国际云、公有云、专有云”应用子平台，并且在航空航天、通用设备制造、模具制造等十大行业围绕纵向（设备云、车间云、企业云、区域云等不同层次的云制造系统）、横向（制造全产业链活动）两个维度进行了应用推广，形成了一些典型的应用范例。这些“云”的产生离不开网络的支持。

网络是计算机技术和通信技术相结合的产物，是把分散的具有独立自主功能的软件资源、硬件资源通过通信线路连接起来组成的系统；网络是工业互联网实现互联互通的基础，通过深度连接工业要素、价值链环节及产业链节点，实现信息数据的高效传递，其主要作用如下。

（1）资源共享。

网络的主要功能就是资源共享。共享的资源包括软件资源、硬件资源及存储在公共数据库中的各类数据资源。网络用户能部分或全部地共享这些资源，使网络中的资源能够互通有无，从而大大提高系统资源的利用率。

（2）快速传输信息。

分布在不同地区的计算机系统可以通过网络及时、高速地传递各种信息，交换数据，发送电子邮件，使人们之间的联系更加紧密。

（3）提高系统可靠性。

在网络中，计算机之间是互相协作、互相备份的，可以在网络中采用一些备份设备，以及负载调度、数据容错等技术，使得当网络中的某一部分出现故障时，网络中的其他部分可以自动接替其任务。因此，与单机系统相比，计算机网络具有较高的可靠性。

（4）易于进行分布式处理。

在网络中，还可以将一个比较大的问题或任务分解为若干个子问题或子任务，并将其分散到网络中不同的计算机上进行处理计算。这种分布式处理能力在进行一些重大课题的研究开发时是卓有成效的。

（5）综合信息服务。

在当今的信息化社会中，个人、办公室、图书馆、企业和学校等每时每刻都在产生并处理大量信息。这些信息可能是文字、数字、图像、声音，甚至是视频，通过网络就能够收集、处理这些信息，并进行信息传送。因此，综合信息服务将成为网络的基本服务功能。



【任务实施】

了解航天云网，试结合真实案例简述网络的作用。

1.2 网络体系结构

1.2.1 网络体系结构的概念



【任务目标】

了解网络体系结构的概念及常见的 3 种网络体系结构。



【任务准备】

分别以“OSI 体系结构”“TCP/IP 体系结构”为关键字查阅相关资料，了解网络常用的体系结构，对比不同的网络体系结构，对 OSI 网络体系结构有初步认识。



【知识链接】

所谓网络体系结构，就是为了完成设备（包含硬件、软件）之间的通信合作，把每个设备互联的功能划分成定义明确的层次，规定了同层次进程通信的协议及相邻层之间的接口和服务。将这样的层次结构模型和通信协议统称为网络体系结构。网络体系结构为网络硬件、软件、协议、存取控制和拓扑提供标准。网络体系结构广泛采用的是国际标准化组织（ISO）在 1979 年提出的开放系统互联（Open System Interconnection, OSI）的参考模型。OSI 定义了开放系统的层次结构、层次之间的相互关系及各层次所包括的可能的任务，作为一个框架来协调和组织各层次所提供的服务。网络体系结构并没有提供一个可以实现的方法，而是描述了一些概念，用来协调进程间通信标准的制定。OSI 参考模型并不是一个标准，而是一个在制定标准时所使用的概念性框架。

现今规模最大的、覆盖全球的、基于 TCP/IP 的互联网并未使用 OSI 标准。在 20 世纪 90 年代初期，虽然整套的 OSI 国际标准已制定出来，但基于 TCP/IP 的互联网已抢先在全球相当大的范围内成功运行了，且同时几乎找不到厂家生产出符合 OSI 标准的商业产品。OSI 只获得了一些理论研究成果，在市场化方面则彻底失败了。

将 OSI 参考模型中的会话层、表示层、应用层合并为应用层后就能得到五层体系结构（或称为原理体系结构），将物理层与数据链路层再合并为网络接口层，就能得到 TCP/IP 的四层体系结构，TCP/IP 体系结构不严格遵循 OSI 分层概念，应用层可能会直接使用网络层或网络接口层。网络专家组提出的是七层 OSI 体系结构，实际工业界实现的是四层 TCP/IP 体系结构，理解原理和教学使用的是五层体系结构。TCP/IP 体系结构常被称为事实上的国际标准。

三种体系结构的比较如图 1-5 所示，我们可以发现不同体系结构完成的功能是一致的，只是不同的体系结构对层次的划分不同。

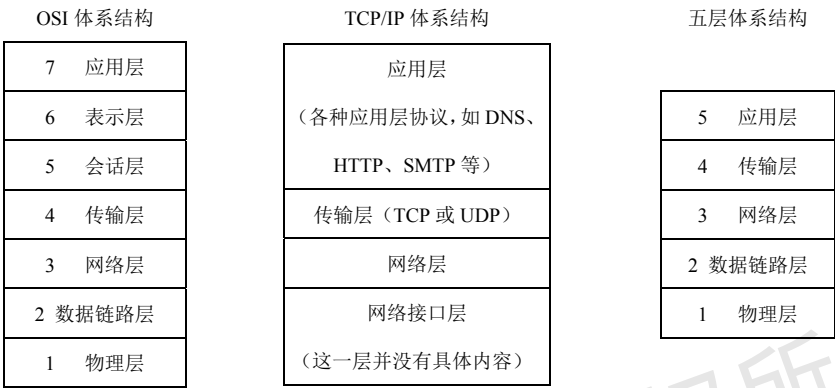


图 1-5 三种体系结构的比较



【任务实施】

对比 OSI 体系结构和 TCP/IP 体系结构，找出它们的不同点。

1.2.2 网络体系结构的特征



【任务目标】

理解和掌握网络体系结构的特征。



【任务准备】

分析附近所使用的计算机设备及其使用的网络体系结构。思考 OSI 体系结构和 TCP/IP 体系结构的分层原因，总结网络体系结构分层的优点。



【知识链接】

网络体系结构的特征如下。

- (1) 以功能作为划分层次的基础。分层将原本复杂的问题层次化和局部化，每个层次

只考虑相应的问题，不受其他无关问题的干扰，同时保证了网络和整个设备系统的高度协调工作。如图 1-6 所示，数据在传输时是垂直分层的，但不同层次的内容只能由对应层次来处理。

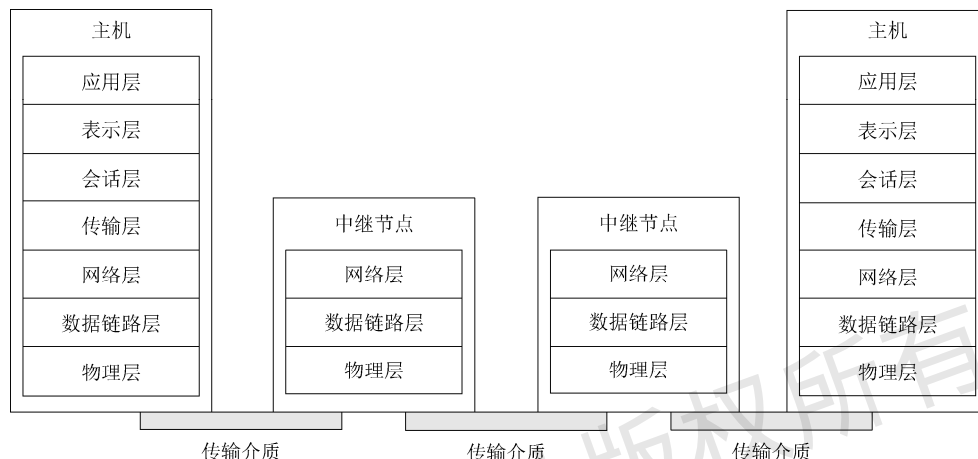


图 1-6 计算机用户之间的通信示意图

(2) 各层之间相互独立。各层之间相互独立，仅在相邻层间有接口，且所提供服务的实现细节对上一层完全屏蔽；每层都可以选择最合适的实现技术。

(3) 包含下层服务。第 n 层的实体在实现自身定义的功能时，只能使用第 $n-1$ 层提供的服务。第 n 层在向第 $n+1$ 层提供服务时，此服务不仅包含第 n 层本身的功能，还包含由下层服务提供的功能。

(4) 灵活性好，有益于标准化的实现。整个系统被分割为多个部分，每一层都有明确的定义，十分有利于标准化的实施，并且易于维护和管理。

下面我们以 OSI 体系结构为例，来说明网络体系结构的特征。

(1) 高三层是面向应用的，负责对信息进行处理，逻辑上属于资源子网；低三层是面向通信的，负责对信息进行传递，逻辑上属于通信子网；中间的传输层在通信子网和资源子网中起承上启下的作用。

(2) 作为信源和信宿的端开放系统（主机）及若干中继开放系统（交换节点）通过物理介质连接构成了整个 OSI 环境。其中，只有主机中需要包含全部七层的功能，而在通信子网中的中间交换节点，一般只需要负责传递信息的低三层即可，甚至只需要低两层的功能。

(3) 在 ISO/OSI 参考模型中，实际的物理通信是经过发送方各层从上到下传输到物理介质，通过物理介质（或通信子网）传输到接收方后，再经过从下到上各层间的传输，最后到达接收方的。在接收方（或发送方）的各层之间，纵向实现的是物理通信，而在接收方和发送方对应层实现的是虚拟通信。

(4) 在发送方从上到下逐层传输信息的过程中, 每层都要加上适当的传给对方对等层的控制信息, 统称为“报头”。到底层成为由“0”或“1”组成的数据比特流, 将其转换为电信号在物理介质上传输至接收方。接收方在向上传递时, 过程正好相反, 各层逐层获得发送方对等层传给自己的报头, 进行相应的协议操作, 剥去报头(本层所需的控制信息), 而只将其中的数据净荷向上层传送。发送方将数据层层打包, 而接收方层层拆包, 每层获得自己所需的信息。如此重复, 最后到达接收方计算机用户的信息就是发送方计算机用户的原始信息, 计算机用户之间实现了通信。



【任务实施】

总结 TCP/IP 体系结构的特征。

1.2.3 网络体系结构的主要功能



【任务目标】

了解不同网络体系结构中各层的功能。



【任务准备】

结合日常上网的过程, 理解信息从发送到接收的全过程。



【知识链接】

虽然常见的网络体系结构有三种, 划分层次不同, 但都是根据功能进行分层的, 不同的网络体系结构只是把整个网络通信过程进行了不同方式的重构, 但是整个过程都是将数据从源用户发送到目标用户的过程。

1. OSI 参考模型分层及功能

OSI 体系结构共七层: 应用层、表示层、会话层、传输层、网络层、数据链路层、物理层。第 1 层在底部, 最接近硬件设备。图 1-7 所示为 OSI 参考模型中各层主要使用的协议。

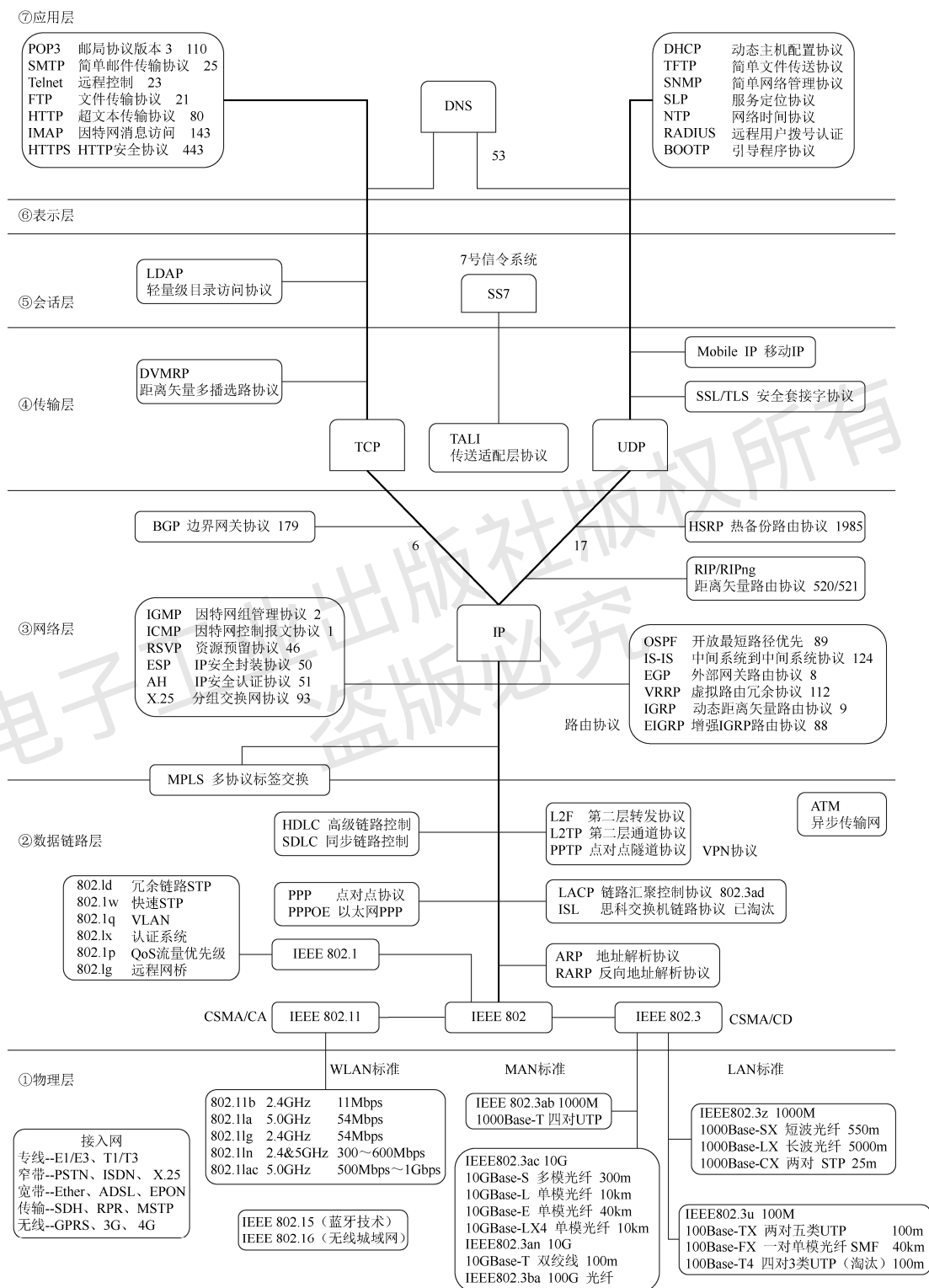


图 1-7 OSI 参考模型中各层主要使用的协议

第 1 层物理层：物理层在局域网上传送数据帧，它负责管理计算机通信设备和网络介质之间的互通。包括针脚、电压、线缆规范、集线器、中继器、网卡、主机适配器等。该层包括物理联网介质，如电缆连线，物理层的协议产生并检测电压，以便发送和接收携带数据的信号。在这一层，把数据链路层输入的帧转换为二进制编码，再把这种编码转换为信号，通过网络介质传输到远端节点，这时的数据表现为高低电平，单位是 bit（比特）。

第 2 层数据链路层：数据链路层负责网络寻址、错误检测和改错。当表头和表尾被加至数据包时，会形成帧。数据链路层的作用包括：物理地址寻址、数据的成帧、数据的检错、数据的重发等。

第 3 层网络层：网络层决定数据的路径选择和转寄，将网络表头加至数据包，以形成分组。主要功能是将网络地址（IP 地址）翻译成对应的物理地址（MAC 地址），并决定如何将数据从发送方路由到接收方，如互联网协议（IP 协议）等。

第 4 层传输层：传输层把传输表头加至数据以形成数据包。传输表头包含了所使用的协议等发送信息。传输层按照网络能处理的最大尺寸将较大的数据包强制分割。例如，以太网无法接收大于 1500 字节的数据包，发送方节点的传输层将数据分割成较小的数据片，同时给每个数据片安排一个序列号，以便数据到达接收方节点的传输层时，能以正确的顺序重组，如传输控制协议（TCP）等。

第 5 层会话层：会话层负责在数据传输中设置和维护网络中两台终端设备之间的连接。其功能包括建立通信链接，保持会话过程通信链接的畅通，同步两个节点之间的对话，决定通信是否中断，以及在通信中断时决定从何处重新发送。

第 6 层表示层：表示层把数据转换为能与接收者的系统格式兼容并适合传输的格式。表示层管理数据的解密与加密，如系统口令的处理。例如，在 Internet 上查询银行账户，使用的就是一种安全连接。你的账户数据在发送前被加密，在网络的另一端，表示层将对接收到的数据进行解密。除此之外，表示层协议还对图片和文件等格式的信息进行解码和编码。

第 7 层应用层：应用层提供为应用软件而设的接口，以设置与另一应用软件之间的通信，如 HTTP、HTTPS、FTP、SSH 等。

图 1-7 所示为 OSI 参考模型中各层主要使用的协议，了解各层协议有助于我们理解设备的工作原理，并能够在实际应用中选择合适的设备。

2. TCP/IP 参考模型分层及功能

TCP/IP 参考模型分为 4 层，具体如下。

（1）数据链路层（网络接口层）。

数据链路层实现了网卡接口的网络驱动程序，以处理数据在物理介质（如以太网、令牌环等）上的传输。它与 OSI 参考模型中的物理层和数据链路层相对应。它负责监视数据在主机和网络之间的交换。事实上，TCP/IP 本身并未定义该层的协议，而由参与互联的各网络使用自己的物理层和数据链路层协议，与 TCP/IP 的网络接入层进行连接。地址解析协

议（ARP）工作在此层，即 OSI 参考模型的数据链路层。

数据链路层两个常用的协议是 ARP（Address Resolution Protocol，地址解析协议）和 RARP（Reverse Address Resolution Protocol，逆地址解析协议）。它们实现了 IP 地址和机器物理地址（通常是 MAC 地址，以太网、令牌环和 802.11 无线网络都使用 MAC 地址）之间的相互转换。

（2）网络层。

网络层对应 OSI 参考模型的网络层，主要解决主机到主机的通信问题。它所包含的协议涉及数据包在整个网络上的逻辑传输。注重重新赋予主机一个 IP 地址来完成对主机的寻址，它还负责数据包在多种网络中的路由。该层有 3 个主要协议：网际协议（IP）、互联网组管理协议（IGMP）和互联网控制报文协议（ICMP）。

网络层另外一个重要的协议是 ICMP 协议（Internet Control Message Protocol，因特网控制报文协议）。它是 IP 协议的重要补充，主要用于检测网络连接。

（3）传输层。

传输层对应 OSI 参考模型的传输层，为两个进程之间的通信（不一定是不同主机）提供服务，建立“端口到端口”的通信。保证了数据包的顺序传送及数据的完整性。该层定义了两个主要的协议：传输控制协议（TCP）和用户数据报协议（UDP）。

TCP 提供的是一种可靠的、通过“三次握手”来连接的数据传输服务；而 UDP 提供的是不保证可靠的（并不是不可靠）、无连接的数据传输服务。

（4）应用层。

应用层对应 OSI 参考模型的高层，为用户提供所需的各种服务，负责处理应用程序的逻辑，如 FTP、Telnet、DNS、SMTP 等。数据链路层、网络层和传输层负责处理网络通信细节，这部分必须既稳定又高效，因此它们都在内核空间中实现。而应用层在用户空间实现，因为它负责处理众多逻辑，如文件传输、名称查询和网络管理等。如果应用层也在内核中实现，会使内核变得非常庞大。当然，也有少数服务器程序是在内核中实现的，这样代码无须在用户空间和内核空间之间来回切换（主要是数据复制），大大地提高了工作效率。不过这种代码实现起来较复杂，不够灵活，且不利于移植。

应用层协议（或程序）可能跳过传输层直接使用网络层提供的服务，如 ping 程序和 OSPF 协议。应用层协议（或程序）通常既可以使用 TCP 服务，又可以使用 UDP 服务，如 DNS 协议。

3. 五层体系结构分层及功能

五层体系结构是 OSI 参考模型和 TCP/IP 参考模型的结合，只是为了研究和教学使用，并无真正的实用性，所以也叫原理参考模型。

（1）物理层。

物理层不是指具体的物理设备或信号传输的物理介质（包括双绞线、同轴电缆等），而

是指在物理介质之上为上一层（数据链路层）提供传输原始比特流服务的物理连接。它的作用在于确保数据可以在各种物理介质上进行传输，为数据的传输提供可靠的环境，为数据链路层传输比特流。

（2）数据链路层。

数据链路层通常简称为链路层。数据链路层在两个相邻节点进行数据传输时，将网络层传递来的 IP 数据报组装成帧，在两个相邻节点之间的链路上传送帧。每一帧包括数据和必要的控制信息（如同步信息、地址信息、差错控制）。在接收数据时，控制信息使接收端能够知道一个帧从哪个比特开始、到哪个比特结束，当数据链路层接收到一个帧后就可以提取数据部分，然后将其提交到网络层。

五层体系结构的网络层、传输层、应用层分别与四层体系结构中的对应层的功能一致。



【任务实施】

1. OSI 参考模型分为哪几层？

2. 在 TCP/IP 参考模型中，网络层的作用是什么？

1.3 IT 网络和 OT 网络

1.3.1 IT 网络的概念



【任务目标】

了解 IT 网络的概念及功能。



【任务准备】

查阅 IT 及 IT 网络的概念，收集身边使用了 IT 技术及网络的案例，了解这些案例中使用了哪些 IT 技术或网络。



【知识链接】

1. IT 的概念

IT 是 Information Technology 的缩写，其涵盖范围很广，主要包括现代计算机、网络通信等信息领域的技术。IT 实际上有三个层次：第一层是硬件，主要是指进行数据存储、处理和传输的主机和网络通信设备；第二层是软件，包括可用来搜集、存储、检索、分析、应用、评估信息的各种软件，它包括通常所指的 ERP（企业资源计划）、CRM（客户关系治理）、SCM（供应链治理）等商用治理软件，也包括用来加强流程治理的 WF（工作流）治理软件、辅助分析的 DW/DM（数据仓库/数据挖掘）软件等；第三层是应用，指搜集、存储、检索、分析、应用、评估、使用各种信息，包括应用 ERP、CRM、SCM 等软件直接辅助决策，也包括利用其他决策分析模型或借助 DW/DM 等技术手段来进一步提高分析质量，辅助决策者决策。

2. IT 网络的概念

IT 主要用于管理和处理信息所采用的各种技术，它主要应用计算机科学和通信技术来设计、开发、安装和实施信息系统及应用软件，如提供输入、存储、恢复、传输、操纵和保护数据或信息等功能，以便在不同组织之间交换数据。

IT 网络（信息技术网络）是使用 IT 技术建立的网络，IT 网络包含硬件（计算机物理服务器和网络设备）、软件（操作系统、应用程序）和外围设备。OT 网络一般执行的是一些静态功能，IT 可以通过多种不同的方式进行调整和重新编程，以满足不断发展和变化的应用程序、业务需求和用户需求。



【任务实施】

简述 IT 网络的作用。

1.3.2 OT 网络的概念



【任务目标】

了解 OT 网络的概念及功能。



【任务准备】

调研身边的物联网应用案例，参观工业互联网实训室或本地自动化程度较高的企业，找出控制器、传感器等硬件，并了解相关的软件控制系统，了解各设备间数据的传输过程。



【知识链接】

1. OT 的概念

早期的工业数据大多是模拟的，没有可扩展的方法来收集和处理这些真实世界的信息。在历史上，笔和纸是记录工业界运营信息的常用工具。后来，数字负载设备和仪器被开发出来，将模拟数据转换为可存储的以数字形式表示的信息。这种设备既可以处理数字输入，也可以处理这些负载设备的数字输出。这意味着，可以处理数字信息的信息技术现在可以用来处理操作信息。

这就产生了“运营技术”(OT)这个术语。OT，即 Operational Technology 的简写，通常翻译为运营技术，其实质为电子、信息、软件与控制技术的综合运用。OT 可定义为对企业的各类终端、流程和事件进行监控或控制的软硬件技术，含数据采集和自动控制技术。因此，OT 既包括硬件设施（如机器人、电机、阀门、数控机床等），也包括对这些设施进行控制的各种软件技术。

从微观的角度看，可将 OT 理解为操作，如操作一台设备；从中观的角度看，可将 OT 翻译为运行，如运行一条生产线；从宏观的角度看，可将 OT 翻译为运营，如运营一家工厂。而不管采用哪一种层级的含义，其本质都是用特定的硬件和软件，对物理设备（如阀、泵等）进行控制，从而控制物理过程与状态的变化。

OT 技术最容易被忽视的一个核心基础就是工业知识的积累和传递，将人的隐性知识转化为机器语言，使其成为一种可执行的知识体系。硬件既包括控制层的 PLC、SCADA、DCS、CNC、RTU、运动控制、机器人等，也包括底层的传感器（按钮、开关、阅读器、条码扫描器，以及各种温度、压力、流量、液位变送器等）和执行器（继电器、电磁阀、电机、阀门、指示灯等），还有现场总线和工业以太网。嵌入式系统（如智能仪表）、数控机床设备等等也可以归于其中。在软件方面，除了指按照工艺要求对 PLC 进行的编程、DCS 组态、SCADA 的图形页面绘制、CNC 的加工曲线、机器人的动作等，OT 技术还包含制造过程的技术秘籍、加工过程中的数据及企业员工的知识经验。

扫一扫
看微课



2. OT 网络的概念

相比于 IT 网络，OT 网络不全部采用基于标准化的以太网通信；在网络层和传输层基于 TCP/IP 来完成通信工作，同时有很多非以太网的网络通信方式混杂，如硬接线、串口通信、短距离或长距离无线通信、RFID、图像识别、条码扫描等。这是因为 OT 网络本身的发展其实就是适应工业环境及满足不同使用目的和供应商的，复杂的环境孕育了很多基于不同技术的工业网络通信，导致出现了非标准化的网络通信。

OT 网络是在工业运营过程中，用于连接生产现场设备与系统，并实现自动控制的工业通信网络。它直接访问控制各种设备，并对生产、监控、控制过程中的数据进行实时处理，为操作、运营提供通信支持。



【任务实施】

结合课前案例，简述 OT 网络的重要性。

1.3.3 IT 网络与 OT 网络的深度融合



【任务目标】

了解 IT 网络和 OT 网络融合的原因。



【任务准备】

在海尔卡奥斯工业互联网创新应用体验中心，有全球首个智能+5G 大规模定制验证平台，该平台可以实现交互定制、数字营销、迭代研发、模块采购等，其中有可以模拟电冰箱或洗衣机的生产线。首先进行人脸识别的信息录入，然后注册账号，后期用户可以通过人脸识别进行取货。用户可以在登录自己的账号后“私人订制”电冰箱，在用户自己的家中就可以选择自己的喜好，选择箱体、面板和顶盖的颜色，输入自己的签名或录入自己喜欢的照片，然后打印到冰箱指定的位置上；用户还可以根据自己的需求对电冰箱的实际性能进行个性化定制。这些数据会传到生产中心，通过控制中心在生产线上按订制要求进行生产，生产完成后，将其根据物流系统信息送到用户家中。

找出项目中使用了 IT 技术、OT 技术的场景，尝试总结 IT 网络和 OT 网络的融合给工业互联网带来了哪些新机遇。



【知识链接】

随着新一轮工业革命的推进，制造业的智能化转型让现实与虚拟世界之间的界限变得越来越模糊，带有 IP 地址的网络设备正在快速大面积覆盖智能化工厂。生产过程和信息合二为一，呼唤新的运营模式，要求 IT 网络和 OT 网络进一步深度融合，形成一个贯穿整个制造企业的技术架构。

IT 网络和 OT 网络的融合会成为一个必然的趋势，未来企业的运营核心是弹性决策。深度挖掘用户需求和生产规划，使制造业得以更好地发展。IT 网络和 OT 网络的融合会帮助制造企业改善业务系统及各部门之间的整体信息流动，从而提升企业的运营水平。企业在面对黑天鹅事件时如何运营、盈利、发展，都与弹性决策息息相关。在数字孪生的环境中，未来的发展趋势是越来越智能化，应提前做好 IT 网络和 OT 网络的融合工作，确保二者的融合程度，以实现未来的基础设施建设和良好使用。

1. 两者融合是工业互联网发展的需要

朝着数字化转型发展是世界工业大国的主要发力方向，以德国工业 4.0 为代表的一批工业数字化转型战略的发布，标志着工业数字化时代的到来。工业互联网要求将工业设计、工艺、生产、管理、服务等涉及企业从创立到结束的全生命周期串联起来，赋能整个工业系统，使其拥有描述、诊断、预测、决策、控制的智能化功能，并最终将人机连接，结合软件和大数据分析，重构全球工业、激发生产力。

案例分析

河南航天液压气动技术有限公司是中国航天科工集团高端液压气动元件生产企业，以往存在重复劳动、工作效率低下、产品设计周期较长、产品质量无法保证等问题。

通过应用 INDICS (INDustrial Intelligent Cloud System, 是中国航天科工集团公司于 2017 年面向全球发布的工业互联网平台)，河南航天液压气动技术有限公司将原有的 OT 系统与 IT 平台融合，打通 OT 设备和环境设施数据、IT 基础设施数据，实现双向互动，并与集团公司进行了对接，在整个集团中实现了数据共享。

在原有 OT 系统中加入 IT 网络后，实现了以下几点要求。

一是实现了云端设计，基于云平台建立涵盖复杂产品、多学科的虚拟样机系统，实现复杂产品的多学科设计优化。降低工业成本，优化工业业务流程，降低工业过程风险，更快地实施开发和集成，推进通信和控制工业过程设备的标准化。将二者融合之后，现有的 IT 软硬件及其环境设备可以便捷地访问 OT 设备及其运行过程数据，OT 设备和过程数据可以通过 IT 基础设施传播，利用 IT 领域的各种算法模型开展对 OT 工业设备及过程的状态监控和风险边界预估，有效降低工业组织的潜在风险，进而在整个企业（或更大的范围）中共享这些设备和过程数据。

二是在运行过程中，可以利用新的 IT 技术（如 AI、边缘计算、区块链等）来快速、精准地分析应用工业设备及工业过程数据，进而实现对企业信息共享方式的全局优化，实现与总体设计部、总装厂所的协同研发设计与工艺设计，为工业制造及其过程管理提供全面的决策支持。通过两者的融合可以建立活跃的数字数据线程，以透明、无缝和安全的方式，运营从工厂车间到企业最高层级以及介于两者之间的所有业务，模糊办公室和车间之间的界限。从客户关系管理到管理信息系统，再到电子邮件，一切都是在 IT 基础架构上运行的。

三是实现跨企业计划排产，实现对从 ERP 的主计划到 CRP 的能力计划，再到 CMES 的作业计划的全过程管控，实现计划进度采集反馈与质量采集分析。部署通用的 IT 基础设施，兼顾 OT 数据的存储和流动，OT 端可以访问 IT 端的海量数据；在不影响 OT 方面的数据采集与监视控制（SCADA）系统工作的前提下，借助云和虚拟化技术，企业工厂或生产车间的服务器可以迁移到云上，有助于减少设备数量，并易于实时更新。

借助 INDICS 工业互联网平台，河南航天液压气动技术有限公司的产品研发设计周期缩短了 35%，资源有效利用率提升了 30%，生产效率提高了 40%，产品质量一致性也得到大幅提升。

2. 什么是 IT 和 OT 融合？

IT 和 OT 处理企业技术基础设施的不同方面，其整合的产物就是工业互联网。一般来说，IT 部门管理数据，OT 部门管理设备和软件。IT 部门可能专注于制造商的员工计算机密码，而 OT 部门专注于装配线控制系统。这两个部门相似且相关，但通常彼此独立。IT 和 OT 融合打破了它们之间的壁垒，架起了一座桥梁。如果 IT 部门和 OT 部门能够积极地一起工作，就可以更有效地完成工作，可以汇集各自的专长、知识和资源，以实现互惠互利。

IT 和 OT 融合有许多潜在的好处。例如，合并的 IT/OT 部门可能会以更低的成本更快地开发新的解决方案，还可以改进自动化流程，更有效地使用资源，并且可以更好地遵守监管标准。

随着智能制造的发展，对于工业网络提出了更多的有关开放性、灵活性、标准化的要求，以期实现商业网络和工业网络真正的互联互通。目前我们能够看到 OPC UA Over TSN、PROFINET Over TSN、5G 及各种物联网通信协议的标准化，让我们憧憬工业网络未来越来越开放，标准越来越统一。

随着工业实时以太网技术的成熟发展，工业网络逐渐过渡到基于标准以太网通信的方式。通过充分利用以太网的优势，可以实现更高带宽、更多节点数、更高可维护性、更高灵活性、更高安全性的多种网络拓扑结构的方式，实现 OT 网络和 IT 网络的融合，形成新的产业模式——工业互联网。



【任务实施】

IT 网络和 OT 网络的融合在哪些方面促进了工业互联网的发展？

1.3.4 IT 网络、OT 网络与工业互联网的关系



【任务目标】

掌握 IT 网络、OT 网络与工业互联网的关系。



【任务准备】

研究海尔卡奥斯工业互联网创新应用体验中心的案例，找出 IT 网络、OT 网络的应用场景，分析 IT 网络、OT 网络与工业互联网的关系。



【知识链接】

1. 工业互联网是 IT 网络和 OT 网络融合的产物

工业互联网是满足工业智能化发展需求，具有低时延、高可靠、广覆盖特点的关键网络基础设施，是新一代信息通信技术与先进制造业深度融合所形成的新兴业态与应用模式，更是在此基础上形成的全新工业生态体系。

当前，以 IT 技术为核心的互联网创新发展与 OT 新工业革命正在形成历史性交汇。一方面互联网基于自身演进发展需要，正加速从消费互联网走向产业互联网，以拓展新的增长空间。从目前的趋势来看，互联网在生产领域呈现逆向渗透之势，由营销服务、研发设计向生产制造内部环节延伸。信息通信企业希望把握这一大趋势，开拓新业务，抢占新领域。基础电信企业、互联网企业等也纷纷入场跟进，共同推动产业互联网化进程。另一方面，工业界面向自身转型升级发展需要，正全方位借助信息通信网络、平台和技术等，实现业务全流程由数字化向网络化、智能化方向深度拓展。伴随云计算、物联网、大数据、人工智能等新技术逐步从概念和技术走向商业化成熟应用阶段，集成新一代网络信息技术，覆盖全系统、全价值链、全产业链和产品全生命周期的工业互联网应运而生。

2. IT 网络是工业互联网的数字基础设施

工业互联网需要不断创新的技术，离不开广泛的互联技术。近十几年来，全球互联网

产业保持稳步增长，成为拉动经济复苏的亮点。工业互联网整合了工业革命和网络革命的优势，将两者有机结合在一起，两者之间快速融合，并从智能机器和高级分析这两个全新的角度体现了工业互联网的特点。

在工业互联网中，一个特征是基于互联互通，另一个特征是海量工业数据的挖掘与运用，这两个特征正是 IT 技术新的增长点。云计算、互联网、大数据是目前 IT 新的产业增长点，也是支撑工业互联网的根本。互联网公司、IT 企业及运营商、IDC 等纷纷推出云计算应用解决方案，构成了中国云计算服务的几大阵营。随着 IT 技术的发展，IT 网络的高速、稳定、广覆盖性为企业内网、企业外网提供了网络互联功能；在各大行业领域，包括能源生产、快运、大规模制造、交通及其他与自动化过程有关的行业在内，其运营越来越依赖通信和计算机网络。

3. OT 网络是工业互联网的核心网络

随着工业互联网的发展，融合新一代信息技术、数字技术与智能化技术的 OT 网络，以工业以太网、有线通信网、无线通信网、SDN/标识解析为基础网络，遵从若干工业网络协议和信息化层次模型，实时处理工业现场的测控信息，是新型工业控制系统中的数据信息流转和处理通道，形成了工业互联网的核心网络。

基于工业互联网的新型 OT 网络弥补了传统工业控制系统中网络数据传输方式的不足，并结合网络控制端的采集监控、边缘计算、工业安全控制等技术实现了工业控制信息数据的边缘计算和数据预处理，通过网络控制层将数据传输至云平台，进行数据分析与处理，进而支撑工业化应用。

4. OT 和 IT 的比较

可以将 OT 理解为 IT 的一个子集，OT 侧重于工业应用。一般的 IT 主要关注连接、传输、信息处理，不一定有操作；而 OT 是 IT 的一个分支，它始终关注着运营活动。表 1-1 所示为 IT 网络和 OT 网络的不同点。我们可以看到，OT 网络和 IT 网络虽然都是工业互联网中不可或缺的一部分，但是它们关注的焦点不同，正是由于它们处于工业互联网中的不同位置，因此它们相互之间具有功能明确、技术相融的特点。

表 1-1 IT 网络和 OT 网络的不同点

OT 网络	IT 网络
面向工业，主要与机器交互	面向业务，主要处理信息而不是机器
数据包括控制数据和监督数据	数据包括交易数据、语音数据、视频数据和大容量数据
与外界相连，访问不受限制	仅限于具有某些特权的人
致力于对数据的实时处理	致力于对数据的事务处理
网络故障可能导致生命周期结束	网络故障可能导致数据丢失
网络环境变化较小，因为需求不会经常变化	网络环境经常变化
网络仅在运营维护窗口期间需要升级	网络经常需要升级
网络中出现任何干扰，都将直接影响整体业务	网络故障可能会对业务产生影响，这取决于行业
网络控制可以对任何设备进行物理访问	通过对网络中的设备和用户进行身份验证来确保安全



【任务实施】

比较 OT 网络和 IT 网络，说出三点以上两者间的不同。

〈思考与练习〉

一、填空题

1. 网络按传输介质可分为_____和_____。
2. 网络按拓扑结构分为_____、_____、_____、_____等。
3. TCP/IP 体系架构包括_____层、_____层、_____层、_____层。
4. IT 的含义为信息技术，其可以包含_____、_____、_____3 个层面的技术。
5. OT 为运营技术，从微观上可以理解为_____技术，从宏观上可以理解为_____技术。

二、选择题

1. 工业互联网是具有_____、_____、_____特点的关键网络基础设施。()
A. 低时延 B. 高可靠 C. 广覆盖 D. 无线连接
2. 星型拓扑结构 (Star Topology) 又称为_____拓扑结构。()
A. 开放型 B. 总线型 C. 集中型 D. 树型
3. _____是最常见的联网方式。它价格便宜，安装方便，但易受干扰，传输速率较低，传输距离比同轴电缆要短。()
A. 光纤 B. 同轴电缆 C. 双绞线 D. 电话线
4. 以下哪些是 OT 网络采用的通信方式？()
A. 以太网通信 B. 串口通信 C. 蓝牙通信 D. RFID
5. 网络按通信方式可分为_____、_____、_____。()
A. 单播网络 B. 组播网络 C. 广播网络 D. 对播网络

三、问答题

1. 说出在工业互联网中网络的概念。