

工业物联网的概念和体系架构

1.1 引言

工业物联网是支撑智能制造的一套使能技术体系^[1]。根据《工业物联网白皮书》，工业物联网是通过工业资源的网络互联、数据互通与系统互操作，实现制造原料的灵活配置、制造过程的按需执行、制造工艺的合理优化和制造环境的快速适应，达到资源的高效利用，从而构建服务驱动型的新工业生态体系^[2]。

随着中国制造 2025、美国先进制造伙伴计划以及德国工业 4.0 等国家层面的战略规划提出，工业物联网应运而生。它在产品的设计、生产、管理以及服务等全生命周期环节中发挥重要作用，是中国战略性新兴产业的重要组成部分，也是经济发展、产业转型的强大推动力。

工业物联网是物联网在工业领域中的应用，但不仅仅是工业与物联网的叠加。工业物联网的定位是支撑智能制造的一套使能技术体系。工业物联网表现出六大典型特征：智能感知、泛在连通、精准控制、数字建模、实时分析和迭代优化。

1.2 工业物联网的体系架构

典型的物联网系统架构共有 4 个层次^[3]。一是感知层，即利用射频识别 (radio frequency identification, RFID)、传感器、二维码等随时随地获取物体的信息；二是现场管理层，对感知层获取的信息流进行存储和监控；三是网络层，通过电信网络与互联网的融合，将物体的信息实时准确地传递出去；四是应用层，对感知层得到的信息进行处理，实现智能化识别、定位、跟踪、监控和管理等实际应用。

在工业环境的应用中，工业物联网与传统的物联网系统架构具有两个主要的不同点：一是在感知层中，大多数工业控制指令的下发以及传感器数据的上传有实时性的要求。在传统的物联网架构中，数据需要经由网络层传送至应用层，由应用层经过处理后再进行决策，对于下发的控制指令，需要再次经过网络层传送至感知层进行指令执行过程。由于网络层通常采用的是以太网或者电信网，这些网络

缺乏实时传输保障,因此在高速率数据采集或者进行实时控制的工业应用场合下,传统的物联网架构并不适用。二是在现有的工业系统中,不同的企业有属于自己的一套 SCADA 监控和数据采集(supervisory control and data acquisition)系统,在工厂范围内实施数据的采集与监视控制。SCADA 系统在某些功能上会与物联网的应用层产生重叠,如何把现有的 SCADA 系统与物联网技术进行融合,例如哪些数据需要通过网络层传送至应用层进行数据分析,哪些数据需要保存在 SCADA 的本地数据库中,哪些数据不应该送达应用层,往往会涉及部分传感器的关键数据或者系统的关键信息,只在工厂内部进行处理。

工业物联网的系统架构需要在传统的物联网架构的基础上增加现场管理层,如图 1-1 所示。其作用类似于一个应用子层,可以在较低层次进行数据的预处理,是实现工业应用中的实时控制、实时报警以及数据的实时记录等功能所不可或缺的层次。图中 FFHSE(flexible function high speed ethernet)是灵活功能现场总线,TCP/IP(transmission control protocol/internet protocol)是传输控制协议,EPA(ethernet for plant automation)是在 TCP/IP 基础上建立的开放网络通信平台,主要用于工业现场设备间通信,DP(data point)是智能设备所具备的功能点,PA(power amplifier)是功率放大器。

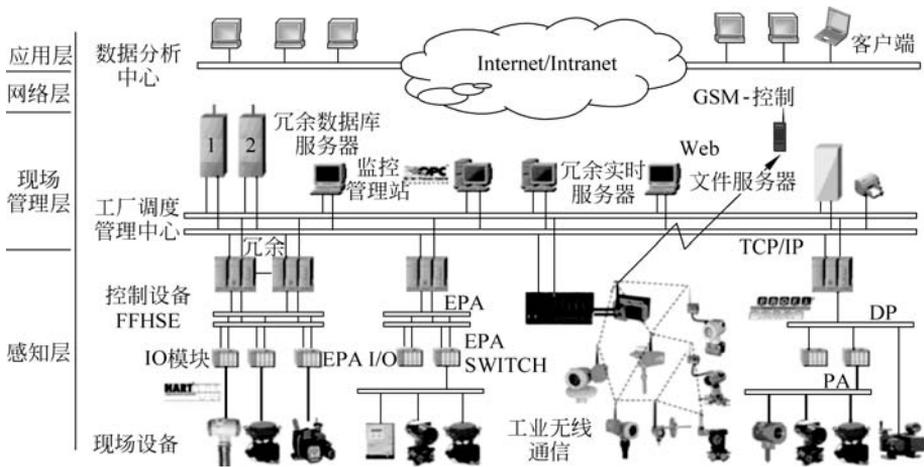


图 1-1 工业物联网体系架构

1.2.1 感知层

感知层的主要功能是识别物体、采集信息和自动控制,是物联网识别物体、采集信息的来源^[4];它由数据采集子层、短距离通信技术和协同信息处理子层组成。数据采集子层通过各种类型的传感器获取物理世界中发生的物理事件和数据信息,例如各种物理量、标识、音视频多媒体数据。物联网的数据采集涉及传感器、RFID、多媒体信息采集、二维码和实时定位等技术。短距离通信技术和协同信息

处理子层将采集到的数据在局部范围内进行协同处理,以提高信息的精度,降低信息冗余度,并通过具有自组织能力的短距离传感网接入广域承载网络。感知层中间件技术旨在解决感知层数据与多种应用平台间的兼容性问题,包括代码管理、服务管理、状态管理、设备管理、时间同步、定位等。在有些应用中还需要通过执行器或其他智能终端对感知结果做出反应,实现智能控制。该部分除 RFID、短距离通信、工业总线等技术较为成熟外,尚需研制大量的物联网特有的技术标准。

感知层由现场设备和控制设备组成,主要进行工业机器信息的感知以及控制指令的下发。现场设备主要包括温度传感器、湿度传感器、压力传感器、RFID、电动阀门、变送器等,这些设备直接与工业机器相连,担当着感知控制过程的末梢机构。控制设备主要指 PLC 等控制器,在工业系统中,PLC 等控制器用于实现较低层的高速实时的控制功能,这对于工业控制尤为重要。控制设备与现场设备组成了现场总线控制网络,如常用的 CAN 总线网络、Profibus 总线网络等。值得一提的是,工业无线传感器网络(industrial wireless sensor networks,IWSN)作为物联网技术的重要组成部分,通过网关可与现有的现场总线网络并存。IWSN 以其高可靠、低成本、易扩展等优势被广泛应用于感知层的实现中,在环境数据感知、工业过程控制等领域发挥着巨大作用。

1.2.2 现场管理层

现场管理层主要指工厂的本地调度管理中心,如上文所述的 SCADA 系统^[5]。调度管理中心充当着工业系统的本地管理者以及工业数据对外接口提供者的角色,一般包括工业数据库服务器、监控服务器、文件服务器以及 Web 网络服务器等设备。现场管理层作为区别于传统物联网系统架构的一个层次,在工业物联网系统中起着重要作用。现场管理层融合了现有的工业监控系统,它的存在使得来自感知层的部分关键工业数据能得到及时的记录与处理,对于一些对实时性有要求的较低层的过程控制指令,它能快速响应,及时做出控制决策。此外,现场管理层起到了对外提供数据接口的作用,通过数据库服务器以及 Web 网络服务器,调度管理中心可以把来自工厂内部的数据通过网络层发布到应用层,应用层可以透明访问到不同工业机器上的感知信息,对进一步的数据分析工作起到了重要作用。

1.2.3 网络层

网络层由互联网、电信网等组成,负责信息传递、路由和控制^[5]。网络层将来自感知层的各类信息通过基础承载网络传输到应用层,包括移动通信网、互联网、卫星网、广电网、行业专网,以及形成的融合网络等。根据应用需求,它可作为透传的网络层,也可升级以满足未来不同内容传输的要求。经过十余年的快速发展,移动通信、互联网等技术已比较成熟,在物联网的早期阶段基本能够满足物联网中数

据传输的需要。网络层主要关注来自感知层的、经过初步处理的数据经由各类网络的传输问题。这涉及智能路由器不同网络传输协议的互通、自组织通信等多种网络技术。其中,全局范围内的标识解析将在该层完成。该部分除全局标识解析外,其他技术较为成熟,以采用现有标准为主。

1.2.4 应用层

应用层实现所感知信息的应用服务,包括信息处理、海量数据存储、数据挖掘与分析、人工智能等技术。

应用层是工业物联网的最终价值体现者^[6]。应用层针对工业应用的需求,与行业专业技术深度融合,利用大数据处理技术对来自感知层的数据进行分析,主要包括对生产流程的监视,对工业机器运行状况的跟踪、记录等,最终产生对企业、行业发展有指导意义的结果,如优化生产流程、指导生产管理、提高经营效率、预测行业发展等,实现广泛的智能化。不同的企业之间更能互相共享大数据的分析处理结果,这对于促进企业间协同生产有着巨大作用。

应用层主要包括服务支撑层和业务体系结构层。物联网的核心功能是对信息资源进行采集、开发和利用,因此这部分内容十分重要。服务支撑层的主要功能是根据底层采集的数据,形成与业务需求相适应、实时更新的动态数据资源库。该部分将采用元数据注册、发现元数据、信息资源目录、互操作元模型、分类编码、并行计算、数据挖掘、数据收割、智能搜索等各项技术,亟须重点研制物联网数据模型、元数据、本体、服务等标准,开发物联网数据体系结构、信息资源规划、信息资源库设计和维护等技术;各个业务场景可以在此基础上,根据业务需求特点,开展相应的数据资源管理。业务体系结构层的主要功能是根据物联网业务需求,采用建模、企业体系结构、SOA 等设计方法,开展物联网业务体系结构、应用体系结构、IT 体系结构、数据体系结构、技术参考模型、业务操作视图设计。物联网涉及面广,包含多种业务需求、运营模式、应用系统、技术体制、信息需求、产品形态均不同的应用系统,因此必须采用统一、系统的业务体系结构,才能够满足物联网全面实时感知、多目标业务、异构技术体制融合等需求。各业务应用领域可以对业务类型进行细分,包括绿色农业、工业监控、公共安全、城市管理、远程医疗、智能家居、智能交通和环境监测等各类不同的业务服务,根据业务需求不同,对业务、服务、数据资源、共性支撑、网络和感知层的各项技术进行裁剪,形成不同的解决方案。该部分可以承担一部分呈现和人机交互功能。应用层将为各类业务提供统一的信息资源支撑,通过建立、实时更新可重复使用的信息资源库和应用服务资源库,使得各类业务根据用户的需求组合,使得物联网的应用系统对于业务的适应能力明显提高。该层能够提升对应用系统资源的重用度,为快速构建新的物联网应用奠定基础,满足在物联网环境中复杂多变的网络资源应用需求和服务。该部分内容涉及数据资源、体系结构领域,是物联网能否发挥作用的关键,可采用的通用信息技术标准不

多,因此尚需研制大量的标准。

除此之外,物联网还需要信息安全、物联网管理、服务质量管理等公共技术支撑,以采用现有标准为主。在各层之间,信息不是单向传递的,而是有交互、控制的,所传递的信息多种多样,其中最为关键的是围绕物品信息,完成海量数据采集、标识解析、传输、智能处理等各个环节,与各业务领域应用融合,完成各业务功能。因此,物联网的系统架构和标准体系是一个紧密关联的整体,引领了物联网研究的方向和领域。

1.3 工业物联网的关键技术

工业物联网是多种技术的有机结合,是多学科交叉的典型。总体而言,物联网的关键技术包括信息感知技术、网络通信技术、信息处理技术与安全管理技术^[7]。

1.3.1 信息感知技术

信息感知技术指的是通过传感器对外界环境进行感知,获取目标信息流,是物联网应用的信息来源,也是工业物联网应用的基础^[8]。

(1) 数据收集。数据收集是信息感知最基本的形式,即节点将感知数据通过网络传输到汇聚节点。例如工业传感器能够测量或感知特定物体的状态和变化,并转化为可传输、可处理、可存储的电子信号或其他形式的信息。射频识别是一种非接触类型的自动识别技术,其主要原理是利用无线电磁信号传输特性和空间耦合原理,来完成对目标物体的自动识别过程。

(2) 数据清洗。由于网络状态的变化和环境因素的影响,实际获取的感知数据往往包含大量异常、错误和噪声数据,因此需要对获取的感知数据进行清洗和离群值判断,去除“脏数据”,从而得到一致有效的感知信息。对于缺失的数据还要进行有效估计,以获得完整的感知数据。根据感知数据的变化规律和时空相关性,一般采用概率统计、近邻分析和分类识别等方法,在感知节点、整个网络或局部网络实现数据清洗。

(3) 数据压缩。对于较大规模的感知网络,将感知数据全部汇集到汇聚节点会产生非常大的数据传输量。由于数据的时空相关性,感知数据包含大量冗余信息,因此采用数据压缩方法能有效减少数据量。然而由于感知节点在运算、存储和能量方面的限制,传统的数据压缩方法往往不能直接应用。

(4) 数据聚集。数据聚集就是通过某种聚集函数对感知数据进行处理,传输少量数据和信息到汇聚节点,以减少网络传输量。需要指出,数据聚集操作丢失了感知数据大量的结构信息,对于要求保持数据完整性和连续性的物联网感知应用,数据聚集并不适用。

(5) 数据融合。数据融合是对多源异构数据进行综合处理获取确定性信息的

过程。在物联网感知网络中,对感知数据进行融合处理,只将少量有意义的信息传输到汇聚节点,可以有效减少数据传输量。物联网数据融合还要考虑网络的结构和路由。

1.3.2 网络通信技术

网络是物联网信息传递和服务支撑的基础设施,通过泛在的互联功能,实现感知信息高可靠性、高安全性传送。

(1) 接入与组网。物联网的网络技术涵盖泛在接入和骨干传输等多个层面的内容。以互联网协议版本 6(IPv6)为核心的下一代网络,为物联网的发展创造了良好的基础网条件。以传感器网络为代表的末梢网络在规模化应用后,面临与骨干网络的接入问题,并且其网络技术需要与骨干网络进行充分协同,这些都将面临新的挑战,需要研究固定、无线和移动网及 Ad-hoc 网技术、自治计算与联网技术等。

(2) 通信与频管。物联网需要综合有线及无线通信技术,其中近距离无线通信技术将是物联网的研究重点。由于物联网终端一般使用工业、科学和医疗(industrial, scientific and medical, ISM)频段进行通信(许可证证的 2.4GHz ISM 频段全世界都可通用),频段内包括大量的物联网设备以及现有的无线保真(Wi-Fi)、超宽带(ultra wide-band, UWB)、ZigBee、蓝牙等设备,频谱空间将极其拥挤,制约了物联网的实际大规模应用。为提升频谱资源的利用率,让更多物联网业务能实现空间并存,需切实提高物联网规模化应用的频谱保障能力,保证异种物联网的共存,并实现其互联互通互操作。

工业以太网、工业现场总线、工业无线网络是目前工业通信领域的三大主流技术。工业以太网是指在工业环境的自动化控制及过程控制中应用以太网的相关组件及技术。工业无线网络则是一种新兴的利用无线技术进行传感器组网以及数据传输的技术,无线网络技术的应用可以使得工业传感器的布线成本大大降低,有利于传感器功能的扩展。工业无线技术的核心技术包括时间同步、确定性调度、跳信道、路由和安全技术等。

1.3.3 信息处理技术

海量感知信息的计算与处理是物联网的核心支撑。信息处理技术是对采集到的数据进行数据解析、格式转换、元数据提取、初步清洗等预处理工作,再按照不同的数据类型与数据使用特点选择分布式文件系统、关系数据库、对象存储系统、时序数据库等不同的数据管理引擎,实现数据的分区选择、落地存储、编目与索引等操作^[9]。

海量感知信息计算与处理技术是物联网应用大规模发展后,面临的重大挑战之一。需要研究海量感知信息的数据融合、高效存储、语义集成、并行处理、知识发

现和数据挖掘等关键技术,攻克物联网“云计算”中的虚拟化、网格计算、服务化和智能化技术。核心是采用云计算技术实现信息存储资源和计算能力的分布式共享,为海量信息的高效利用提供支撑。当前业界大数据处理技术有很多,如 SAP 的 BW 系统在一定程度上解决了大数据给企业生产运营带来的问题。数据融合和数据挖掘技术的发展也使海量信息处理变得更为智能、高效。工业物联网泛在感知的特点使得人也成为被感知的对象,通过对环境数据的分析以及用户行为的建模,可以实现生产设计、制造、管理过程中的人-人、人-机和机-机之间的行为、环境和状态感知,更加真实地反映出工业生产过程中的细节变化,以便得出更准确的分析结果。

1.3.4 安全管理技术

工业物联网系统与许多其他物联网系统的区别在于:在工业物联网系统中,一般会涉及许多工业生产设备,这些设备系统响应的实时性要求高,无论感知数据的传输,还是控制指令的发放,都需要在很短的时间内完成,这就给安全防护技术的实施带来了挑战^[10]。工业物联网系统的入侵攻击目标一般不是被入侵的主机系统,因为无论破坏主机系统,还是从主机系统获取信息,都达不到攻击工业设施的目的。攻击者一般会通过入侵的主机系统非法控制该主机系统所能控制的受控设备,这些受控设备有些可能根本不具有智能判断能力,如 PLC 设备。

基于这种特点,针对入侵攻击的防护措施也应该进行调整。传统信息系统的防护手段是边界防护(防火墙)系统和入侵检测系统,一些异常数据在边界防护过程中就能被拒之门外,当个别通过边界防护系统的恶意软件和远程控制行为在主机系统中进行不正常的操作时,入侵检测系统一般能识别并进行制止,当然这一过程有时需要人的参与才能做出正确判断。工业物联网系统中的主机也有类似的安全防护功能,但对工业物联网系统中的主机来说,边界防护系统由于不能及时更新,基于系统漏洞的恶意软件和远程入侵很容易无障碍越过边界防护;对于一些新型的入侵方式,过时的入侵检测系统也基本不能识别,甚至有些入侵可以拥有比入侵检测系统更高的权限。针对工业物联网系统的特点,已有学者提出一种新的安全防护架构,即入侵容忍系统。入侵容忍系统不是一个主机,而是由主机和被控制单元构成的一个工业物联网系统,其基本原理是让入侵者也处于知己不知彼的状态。该系统的特点是,如果某一个主机遭受入侵攻击,无论该入侵攻击是一个恶意软件还是非法远程控制,都不能对该主机所控制的设备造成影响。这种入侵容忍系统是针对工业物联网系统而专门设计的,不适合对传统信息系统的安全保护。同时,目前传统信息系统的安全保护都不具有入侵容忍性。因此,要想对工业物联网系统(包括其他一些物联网系统)提供自主可控的安全防护,需要大力发展入侵容忍技术。

1.4 工业物联网的相关标准

1.4.1 工业物联网标准的现状

随着多年来的发展,工业物联网领域已经形成三大国际标准共存的局面,分别为国际自动化学会(International Society of Automation,ISA)(原美国电气标识协会)发布的 ISA 100.11a 标准、HART 通信基金会发布的 WirelessHART 标准和我国自主研发的 WIA-PA 标准^[11]。

(1) 国际自动化学会一直致力于通过制定该领域的一系列标准、建议规范、技术报告来定义工业自动化控制环境下的无线系统实现技术,并从 2005 年开始启动工业无线标准 ISA 100.11a 的制定工作。ISA 100.11a 标准的主要内容包括工业无线的网络构架、共存性与有线现场网络的互操作性等,可解决与其他短距离无线网络的共存性问题以及无线通信的可靠性和确定性问题,其核心技术包括精确时间同步技术、自适应跳信道技术、确定性调度技术、数据链路层子网路由技术和安全管理方案等,并具有数据传输可靠、准确、实时、低功耗等特点。ISA 100.11a 标准的工业无线设备主要包括执行器、传感器、无线手持设备等现场自动化设备。

(2) HART 通信基金会成立于 1993 年,WirelessHART 标准是 HART 通信协议的扩展,专为工业环境中的过程监视和控制等应用所设计。该标准于 2007 年 6 月,经 HART 通信基金会批准,作为 HART7 技术规范的一部分加进了总的 HART 通信协议簇中。2010 年 4 月,国际电工委员会批准发布了完全国际化的 WirelessHART 标准 IEC 62591,其与以往 HART 协议兼容,是第一个过程自动化领域的无线传感器网络国际标准。该网络采用了直接序列扩频(direct sequence spread spectrum, DSSS)、通信安全与可靠的信道跳频、时分多址(time division multiple address, TDMA)同步、网络上设备间延迟通信(latency-controlled communications)等技术。

(3) 我国自主研发的工业物联网标准 WIA-PA(Wireless Networks for Industrial Automation-Process Automation),由中国科学院沈阳自动化研究所、重庆邮电大学等单位从 2006 年开始联合制定,并于 2011 年正式成为 IEC 62601 国际标准。与其他两种标准相比,WIA-PA 在规模可扩展性、抗干扰性和低能耗运行等关键性能方面具有明显优势,在拓扑结构、自适应跳频、分簇报文聚合等方面具有创新性。该标准的研发成功,也标志着我国在工业无线通信技术领域已处于世界领先地位,为我国推进工业化与信息化相融合提供了一种新的高端技术解决方案。

1.4.2 工业物联网标准的比较

当前,ISA 100.11a、WirelessHART 和 WIA-PA 这三大工业物联网国际标准形成了三足鼎立的局面,各自拥有自己的优势和特色。本节将从拓扑结构和技术性能两个方面对其进行分析比较。

1. 拓扑结构

为满足工业应用的需求,ISA 100.11a 支持多种网络拓扑,包括 Mesh、网状、星状和星网状拓扑等结构。星状网络拓扑结构容易实现,实时性高,但仅限单跳范围。网状拓扑结构灵活,便于配置和扩展,同时具备良好的稳定性。为了扩大网络覆盖面积,在 ISA 100.11a 网络结构中引入了骨干网。骨干网是一个高速网络,可以减小数据时延。所有现场设备通过骨干路由器接入骨干网,现场设备和骨干路由器组成的网络为 ISA 100.11a DL 子网。ISA 100.11a DL 子网不含骨干网就组成了 ISA 100.11a 网络。如果 ISA 100.11a 网络中没有骨干网,则 ISA 100.11a DL 子网包括现场设备和网关,等同于 ISA 100.11a 网络。

WirelessHART 网络为多跳的网状网络结构,其网络中所有设备均具备路由功能,从而确保远端设备可以通过网络中多条冗余的路径传送至网关,因此,在工厂中无须安装多个需要供电的无线接入点,只需安装 1 个网关即可(网关可以冗余配置)。由于多跳的存在,数据得以进行远距离传输,如果其中一条路径出现阻碍或干扰,则网络自动选择其他路径。WirelessHART 网络具备自动管理网络功能,新设备加入网络时,自动组态路径,无须人工干涉。一旦路径故障,将自动切换至备份路径。因此,在保证可靠性的同时,网络扩展也更加容易。

与之前两种标准不同,WIA-PA 网络采用星状和网状相结合的两层网络拓扑结构,第一层是网状结构,由网关及路由设备构成,用于系统管理的网络管理器 and 安全管理器,在实现时可位于网关或主控计算机中;第二层是星状结构,又称为簇,由路由设备及现场设备或手持设备构成,WIA-PA 网络的路由设备承担簇首功能,现场设备承担簇成员功能。

2. 技术性能

工业无线技术的核心技术包括时间同步、确定性调度、跳信道、路由和安全技术等。表 1-1 通过从物理层、数据链路层、网络层等方面对三个标准进行比较分析,可以看到三大标准具有相似的特征,其标准协议体系结构都遵循 OSI 开放系统互联参考模型,并且都引用 IEEE 802.15.4 作为物理层标准。

表 1-1 三种国际标准技术性能比较

国际标准		ISA 100.11a	WirelessHART	WIA-PA
物理层		IEEE 802.15.4—2006 2.4GHz,信道 26 可选	IEEE 802.15.4—2006 2.4GHz,信道 26 排除	IEEE 802.15.4—2006 2.4GHz
数据链路层	概述	MAC 子层兼容 802.15.4 协议;MAC 扩展层完成传统的 DLL 层功能;DLL 上层完成 Mesh 子网内的路由功能。支持 3 种跳信道机制,超帧调度,时间同步,TDMA/CSMA 信道接入	TDMA 接入,支持多超帧,跳信道,重传机制,时隙可配置成专用方式和共享方式	基于超帧和跳频的时隙通信、重传机制、用于时间同步、TDMA 和 CSMA 混合信道访问机制。链路配置及性能度量

续表

国际标准		ISA 100.11a	WirelessHART	WIA-PA
数据链路层	时间同步	可根据广播帧、确认帧同步	根据时间同步命令帧同步	可根据信标帧、时间同步命令帧同步
	跳频	时隙跳频,慢跳频,混合跳,黑名单技术	自适应信道,黑名单技术	自适应跳频,时隙跳频
	超频	使用一般超频	使用一般超频	使用 IEEE 802.15.4 超频结构
	时隙	固定长度	可变长度	可变长度
	邻居	支持邻居组	支持	只支持与簇首通信
	链路实现	收发独立	收发独立	管理和数据分开,基于网络管理者
	MIC	IEEE 802.15.4 安全策略	32 位	IEEE 802.15.4 安全策略
	邻居发现	使用广播帧	使用广播帧	使用 IEEE 802.15.4 信标帧
网络层		采用 6LoWPAN 标准:地址转换,分片与重组,骨干网间的路由	采用图路由和源路由方式,动态网络带宽管理	网络带宽管理寻址路由(支持静态路由)分段与重组
传输层		基于 RFC786 (UDP) 协议	无	无
应用层		支持周期性信息;支持报警等信息;基于服务,面向对象	支持周期性信息;支持报警等信息;基于 HART 命令	支持周期性信息;支持报警等信息;基于服务
网关		DL 子网允许一个网关,骨干网络中可允许多个	每一个网络仅允许一个网关	允许有冗余网关
安全		数据加密和完整性鉴别保护、点到点和端到端安全、消息/设备认证、入网设备安全处理	通信设备之间数据加密、消息鉴别、设备认证、健壮性操作等	分层分级实施不同的安全策略和措施,数据加密、数据校验、设备认证

1.4.3 工业物联网标准的应用

目前,WirelessHART 标准已有大量的网络设备和应用设备被研制出来,全球已在使用的 HART 设备超过 2600 万台,用户已经具有一定的 HART 培训和使用经验,这部分用户可以轻松掌握 WirelessHART 无线协议,并进行相应开发^[12]。艾默生公司已经推出了兼容 HART 标准的自动化产品(如无线适配器)以及 WirelessHART 仪表、网关,并投入使用,ABB、E+H、P+F 等仪表和现场设备提供商都在积极地推出产品。博微公司已经研制出国内首款 WirelessHART 模块及网关,并得到成功应用以及良好的客户反馈,WirelessHART 适配器也已经在研