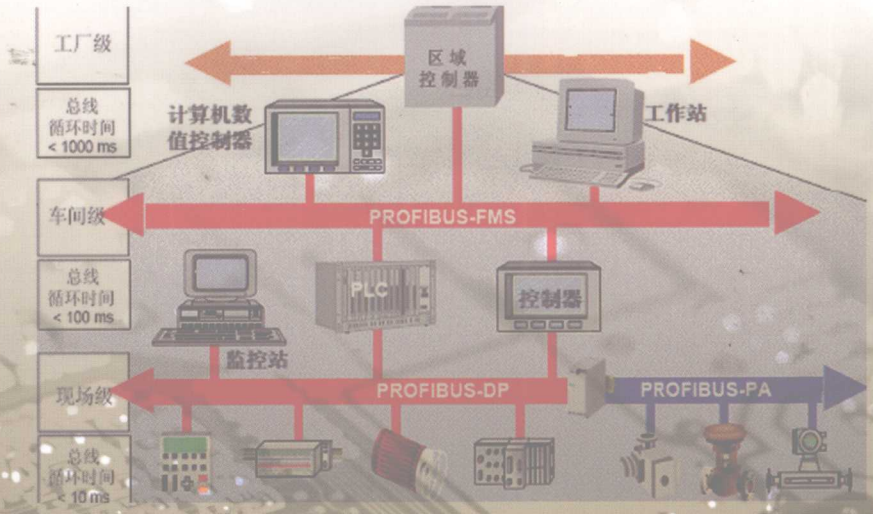
网络控制技术

■ 谢昊飞　李勇　王平　张军　编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

免费
电子课件

网络控制技术

谢昊飞　李　勇　王　平　张　军　编　著

机 械 工 业 出 版 社

本书以计算机控制系统的网络化、开放化、智能化和集成化发展趋势为主线索，结合最新颁布的现场总线国际标准IEC 61158（第4版）、工业以太网标准IEC 61786－2和网络控制系统的典型应用，系统地介绍了网络控制系统的原理与设计方法。

本书介绍了工业控制网络的特点、发展历程、技术现状和发展趋势，网络通信的基本概念、网络控制系统的拓扑结构和差错控制技术，重点介绍了FF现场总线的协议模型、报文规范、功能块应用进程和总线系统结构，PROFIBUS现场总线的协议模型、通信报文、DP规范和PA行规，CAN总线的通信模型、仲裁机制以及节点设计。在概述IEC 61786－2标准体系的基础上，重点介绍了EPA工业以太网技术，概述PROFINET和HSE工业以太网技术，最后对工业网络系统集成进行了描述。

本书有机地融入了作者多年参加国家863项目的科研成果和参加国际标准（IEC标准）制定的技术资料，注重系统性、实用性，强调网络控制技术的实际运用，着重对学生实际动手能力、独立思考能力、创新思维能力和综合运用能力的培养和训练。

本书配有免费电子课件，欢迎选用本书作教材的老师登录www. cmpedu. com注册下载或发邮件到wbj@ cmpbook. com索取。

本书可作为普通高等院校电子信息类、电气工程类、机械电子类、仪器仪表类及相关专业的教材，也可作为相关技术人员的参考书。

图书在版编目（CIP）数据

网络控制技术/谢早飞等编著. —北京：机械工业出版社，2009.4
ISBN 978－7－111－26649－5

Ⅰ.网… Ⅱ.谢… Ⅲ.计算机网络－自动控制系统－高等学校－教材
Ⅳ.TP273

中国版本图书馆CIP数据核字（2009）第042826号

机械工业出版社（北京市百万庄大街22号 邮政编码100037）
策划编辑：王保家 责任编辑：王保家 李 宁
版式设计：霍永明 责任校对：李 婷
封面设计：张 静 责任印制：李 妍
北京汇林印务有限公司印刷
2009年6月第1版第1次印刷
184mm×260mm·17.5印张·432千字
标准书号：ISBN 978-7-111-26649-5
定价：30.00元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换
销售服务热线电话：（010）68326294
购书热线电话：（010）88379639 88379641 88379643
编辑热线电话：（010）88379727
封面无防伪标均为盗版

前　言

网络技术的迅速发展引发了自动控制领域的深刻技术变革。目前，及时、准确、可靠地获得现场设备的信息是计算机控制系统的基本要求，可靠、高效的现场控制网络则是迅速有效地收集和传送现场生产与管理数据的基本保障。计算机控制系统的结构沿着网络化方向与控制系统体系沿着开放性方向发展是计算机控制技术发展的大潮流，网络化、开放化、智能化和集成化是工业控制技术发展的方向与灵魂。现场总线技术、工业以太网技术、分布式网络控制技术的出现及发展，推动了控制领域全方位的技术进步。本书作者作为主要成员制定的《用于工业测量与控制系统的工业以太网 EPA（Ethernet for Plant Automation）系统结构和通信标准》于2005年5月被国际电工委员会（IEC）正式发布为IEC/PAS 62409，成为我国工业自动化领域第一个具有自主知识产权的国际标准，并在2007年10月正式成为实时以太网标准IEC 61784－2的CPF14和现场总线国际标准第4版的IEC 61158－314/414/514/614规范。

本书以计算机控制系统的网络化、开放化、智能化和集成化发展趋势为主线索，有机地融入了作者多年参加国家863计划EPA系列项目的科研成果和参加国际标准（IEC标准）制定的技术资料，系统地介绍了网络控制系统的原理与设计方法。本书注重系统性、实用性，强调网络控制技术的实际运用，注重实时以太网标准IEC 61784－2、现场总线国际标准IEC 61158第4版和国际上最新技术进展等内容的介绍。同时，利用作者科研工作的亲身体会和经验，着重对学生独立思考能力、实际动手能力、综合运用能力和创新思维能力的培养和训练。

本书共分为7章。第1章介绍了工业控制网络的特点、发展历程、现场总线和工业以太网的现状与发展趋势；第2章介绍了网络通信的基本概念及通信模型、数据编码技术、数据传输模式、网络控制系统的拓扑结构、通信信道访问控制方式及差错控制技术；第3章介绍了FF现场总线通信模型及各层的主要规范、网络管理、系统管理、功能块应用进程和FF现场总线系统设计；第4章介绍了PROFIBUS现场总线通信模型及各层的主要规范、DP规范和PA行规；第5章介绍了CAN总线通信模型、非破坏性位仲裁机制、帧结构、错误处理机制、位定时和同步，并以CAN独立通信控制器SJA1000为例，介绍了CAN节点设计；第6章介绍了工业以太网与实时以太网、IEC 61786－2标准、IEC 61786－1/2与IEC 61158，以及EPA、PROFINET和HSE三种工业以太网技术；第7章介绍了工业网络系统的集成方法与技术。

本书编写过程中力求做到理论分析与应用技术并重，注重软件与硬件有机地结合，把握计算机控制系统的结构沿着网络化方向与控制系统体系沿着开放性方向这一计算机控制技术发展的大潮流，强化通信技术与网络技术在计算机控制系统中的地位，强调网络控制系统的整体概念。为了便于读者理解和掌握，本书列举了大量有关网络控制系统分析、设计与实现的典型例子，并力求达到重点突出、层次分明、语言精练、易于理解。

本书参考学时为50学时，先修课程包括：微机原理及应用、计算机网络、自动控制原

理、计算机控制技术等。

谢昊飞老师负责第2、4、5、7章的编写，并统稿；李勇老师负责第3章编写；王平教授负责第1章和第6章的编写。张军教授级高工参加第3～5章的编写，并负责提供应用案例。机械工业出版社在本书的编写出版过程中自始至终给予了热情的关心、帮助和支持，在此，谨表深切的谢意。

本书配有免费电子课件，欢迎选用本书作教材的老师登录 www. cmpedu. com 注册下载或发邮件到 wbj@ cmpbook. com 索取。

由于作者水平有限，加之当今科学发展日新月异，尽管在编写过程中尽心尽力，但书中不足或缺点在所难免，敬请读者见谅和批评指正。

编　者

目　录

第1章 绪 论

自动控制技术是一种运用控制理论、仪器仪表、计算机和其他信息技术，对工业生产过程实现检测、控制、优化、调度、管理和决策，达到增加产量、提高质量、降低消耗、确保安全等目的的综合性技术。以现场总线与工业以太网技术为代表的网络控制技术是现代自动控制技术和信息网络技术相结合的产物，是目前自动控制系统的标志性技术，是改造传统工业的有力工具，也是两者融合的重点方向。

1.1 工业控制网络的特点

1.1.1 工业控制网络与信息网络的区别

工业控制网络作为一种特殊的网络，直接面向生产过程和控制，肩负着工业生产运行一线测量与控制信息传输的特殊任务，并产生或引发物质、能量的运动和转换。因此，它通常应满足强实时性与确定性、高可靠性与安全性、工业现场恶劣环境的适应性、总线供电与本质安全等特殊要求。工业控制网络与信息网络的主要区别有：

1）工业控制网络传输的信息多为短帧信息，长度较小，且信息交换频繁；而信息网络传输的信息长度大，互相交换的信息不频繁。

2）工业控制网络周期与非周期信息同时存在，在正常工作状态下，周期性信息（如过程测量与控制信息、监控信息等）较多，而非周期信息（如突发事件报警、程序上下载等）较少；而信息网络非周期信息较多，周期信息较少。

3）一般来说，过程控制网络的响应时间要求为0.01～0.5s，制造自动化网络的响应时间要求为0.5～1.0s；而信息网络的响应时间要求为2.2～6.0s，信息网络中大部分响应的实时性是可以忽略的。

4）工业控制网络的信息流向具有明显的方向性，如测量信息由变送器向控制器传送，控制信息由控制器向执行机构传送，过程监控与突发信息由现场仪表向操作站传送，程序下载由工程师站向现场仪表传输等；而信息网络的信息流向不具有明显的方向性。

5）工业控制网络中测量，控制信息的传送有一定的顺序性，如测量信息首先需要传送到控制器，由控制器进行控制运算，再将发出的控制信息传送给执行机构，控制相关阀门的动作；而信息网络的信息传送没有一定的顺序性。

6）工业控制网络应具有良好的环境适应性，即在高温、潮湿、振动、腐蚀以及电磁干扰等工业环境中长时间、连续、可靠、完整地传送数据的能力，并能抗工业电网的浪涌、跌落和尖峰干扰；而信息网络对环境适应性的要求不高。

7）在可燃与易爆场合下，工业控制网络还应具有自动防止故障发生或者安全停止运行的能力，即本安防爆性能；而信息网络不需要本安防爆性能。

8）工业控制网络的通信方式多为广播或组播的通信方式；而信息网络的通信方式多为

点对点的通信方式。

9）工业控制网络必须解决在同一网络中多家公司产品与系统的相互兼容问题，即协议一致性与互可操作性问题；而信息网络只需要解决互连互通问题，即协议一致性问题。

1.1.2 工业控制网络的技术特征

（1）系统的开放性与分散性

控制网络的出现使控制系统的体系结构发生了根本性改变，如图 1-1 所示，形成了在功能上管理集中、控制分散，在结构上横向分散、纵向分级的体系结构。把基本控制功能下放到现场具有智能的芯片或功能块中，不同现场设备中的功能块可以构成完整的控制回路，使控制功能彻底分散，直接面对对象，把同时具有控制、测量与通信功能的功能块与功能块应用进程作为网络节点，采用开放的控制网络协议进行互连，形成底层控制网络。

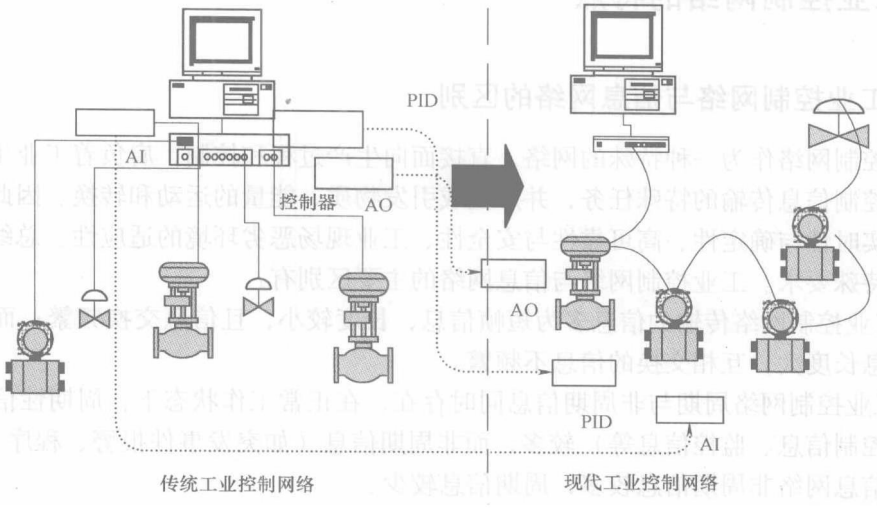


图 1-1 传统工业控制网络向现代工业控制网络的演变

（2）系统响应的实时性与确定性

工业控制网络是与工业现场测量控制设备相连接的一类特殊通信网络，控制网络中数据传输的及时性与系统响应的实时性是控制系统最基本的要求。在工业自动化控制中需要及时地传输现场过程信息和操作指令，工业控制网络不但要完成非实时信息的通信，而且还要求支持实时信息的通信。这就不仅要求工业控制网络传输速度快，而且还要求响应快，即响应实时性要好。所谓实时性，是指在网络通信过程中能在线实时采集过程的参数，实时对系统信息进行加工处理，并迅速反馈给系统完成过程控制，满足过程控制对时间限制的要求；同时要求网络通信任务的行为在时间上可以预测确定。实时性表现在对内部和外部事件能及时地响应，并作出相应的处理，不丢失信息，不延误操作。工业控制网络处理的事件一般分为两类：一类是定时事件，如数据的定时采集，运算控制等；另一类是随机事件，如事故、报警等。对于定时事件，系统设置时钟，保证定时处理。对于随机事件，系统设置中断，并根据故障的轻重缓急预先分配中断级别，一旦事故发生，保证优先处理紧急故障。

对于控制网络，它主要的通信量是过程信息及操作管理信息，信息量不大，传输速率一

般不高于1Mbit/s，信息传输任务相对比较简单但其实时响应时间要求较高为0.01～0.5s。除了控制管理计算机系统的外部设备外，还要控制管理控制系统的设备，并具有处理随机事件的能力。实际操作系统应保证在异常情况下及时处置，保证完成任务，或完成最重要的任务，要求能及时发现、纠正随机性错误，至少保证不使错误影响扩大，应具有抵制错误操作和错误输入信息的能力。

（3）网络产品要具有互操作性与互用性

对于同一类型协议的不同制造商的产品可以混合组态，构建成一个开放系统，使它具有互操作性。一致性测试是通过一系列具体应用，对现场总线的硬件和软件产品进行的行为测试，以确定具体应用中的行为与相应的协议标准是否一致，从而确定被测设备或系统对通信协议的各种应用与现场总线标准规范的符合程度。互操作性是指在没有任何功能损失的条件下，不同厂家的多个设备是否可以在一个系统中协同工作，即这些设备是否能够实现控制功能上的相互连接与操作。因此，各制造商的产品要通过相应的一致性测试及互操作性测试，并通过专门的测试认证。

（4）要求极高的可靠性

工业控制网络必须连续运行，它的任何中断和故障都可能造成停产，甚至引起设备和人身事故。因此工业控制网络必须具有极高的可靠性，如工业控制网络要求过程信息和操作指令实现零丢包率。

工业控制网络的高可靠性通常包含三个方面内容。

1）可使用性好，网络自身不易发生故障。这要求网络设备质量高，平均故障间隔时间长，能尽量防止故障发生。差错控制技术是提高网络传输质量的一个重要的技术。

2）容错能力强，网络系统局部单元出现故障，不影响整个系统的正常工作。例如，在现场设备或网络局部链路出现故障的情况下，能在很短的时间内重新建立新的网络链路。

在网络的可靠性设计中，主要强调的是尽量防止出现故障，但是无论采取多少措施，要保证网络零故障是不可能的，也是不现实的。容错设计则是从全系统出发，以另一个角度考虑问题，其出发点是承认各单元发生故障的可能，进而设法保证即使某单元发生故障，系统仍能完全正确地工作，也就是说给系统增加了容忍故障的能力。

提高网络容错能力的一个常用措施是在网络中增加适当的冗余单元，以保证当某个单元发生故障时能由冗余单元接替其工作，原单元恢复后再恢复出错前的状态。

3）可维护性高，故障发生后能及时发现和及时处理，通过维修使网络及时恢复。这是考虑当网络系统万一出现失效时，系统既要能采取安全性措施，如及时报警，输出锁定，工作模式切换等，又要具有极强的自诊断和故障定位能力，且能迅速排除故障。

（5）需要良好的适应恶劣环境的能力

工业控制网络应具有良好的环境适应性，即工业控制网络强调在恶劣环境下数据传输的完整性和可靠性。由于工业生产现场环境与一般商业环境不同，如温度与湿度变化范围大，空气污浊、粉尘污染大，振动、电磁干扰大，并常伴随有腐蚀性、有毒气体等。因此，工业控制网络必须具有机械环境适应性（如耐振动、耐冲击）、气候环境适应性（工作温度要求为－40～85℃，至少为－20～70℃，并要耐腐蚀、防尘、防水）、电磁环境适应性或电磁兼容性等。要满足这些指标，工业控制网络设备需要经过严格的设计和测试。

（6）必须具备严格的网络安全性

工业控制网络主要用于各种大中型企业的生产及管理控制，一点信息的失密或者遭到病毒破坏都有可能导致巨大的经济损失，更不要说由于敌对者的恶意破坏而导致网络不能正常运行。因此，信息本身的保密性、完整性、鉴别性以及信息来源和去向的可靠性是每一个管理者和操作者始终不可忽视的，也是整个工业控制网络系统必不可少的重要组成部分。

1.2 网络控制技术的发展历程

网络控制技术是伴随着控制系统的变革而发展起来的。控制系统在经历了基地式气动仪表控制系统、电动单元组合式模拟仪表控制系统、集中式数字控制系统以及集散控制系统（DCS）后，现场总线控制系统（FCS）已成为当前的主流技术。而采用工业以太网技术可有效促进现场仪表的智能化、控制功能分散化、控制系统开放化，符合工业控制系统的技术发展趋势，在工业现场得到越来越多的应用，将在控制领域中占有更加重要的地位。

对于基地式气动仪表控制系统和电动单元组合式模拟仪表控制系统只是驱动方式的改变，两类控制系统只能对单一回路进行控制，而各个回路之间不能够交换信息，每一个回路是一个独立的信息孤岛，并不属于网络的范畴。

随着计算机技术的发展，计算机被引入控制系统，它不仅能够完成对数据的处理操作，更主要的是可以直接根据输入的给定值、过程变量和过程中其他的测定值，通过 PID 或其他高级控制算法，得出操作变量，即输出值，送给执行机构完成控制功能。这就是集中式数字控制系统的基本思想。集中式数字控制系统由于其结构简单，直接面向控制对象，所以尚未形成网络体系。尽管将计算机引入控制系统使得一些高级控制算法得以实现，然而，随着生产过程的复杂化，软件开发开销比较大，并且复杂的软件结构使得系统的升级能力较弱；计算机工作是需要集中控制几十个，甚至上百个回路，这就使得系统的实时性、可靠性得不到保证。

真正意义的网络化控制体系是 20 世纪 70 年代出现的第二代计算机控制系统——集散控制系统（DCS）。它是随着网络技术的发展而发展起来的，DCS 的特点是“集中管理，分散控制”，这类系统完整地体现了分散化和分层化的思想。目前所使用的 DCS 有环形、总线型和分级式几种，其中分级式应用最为普遍，如图 1-2 所示。然而，DCS 也有其明显的缺点。首先，它的结构是多级主从关系，现场设备之间相互通信必须经过主机，使得主机负荷重、效率低，且主机一旦发生故障，整个系统就会崩溃；其次，使用大量的模拟信号，很多现场仪表仍然使用传统的 4～20mA 电流模拟信号，传输可靠性差，难以数字化处理；第三，各系统设计厂家制定独立的 DCS 标准，通信协议不开放，极大地制约了系统的集成与应用，不利于相关企业发展。

为了克服 DCS 的技术瓶颈，进一步满足工业现场的需要，随着计算机、控制和通信技术的发展，现场总线控制系统（FCS）应运而生。它将系统的控制功能进一步下放，现场总线网络实际上是一种全数字化、全分散、可互操作、开放式的互连网络。FCS 专门用于过程自动化和制造自动化最底层的现场设备或现场仪表互连，是现场通信网络和控制系统的集成，如图 1-2 所示。但是 FCS 也有许多瓶颈问题。首先，现有的现场总线标准种类过多，且各有自己的优势和适用范围，用户如何取舍是比较棘手的问题；其次，控制系统中如果有多种现场总线同时存在，而用户又希望将工业控制系统与数据信息网络实现无缝集成，真正

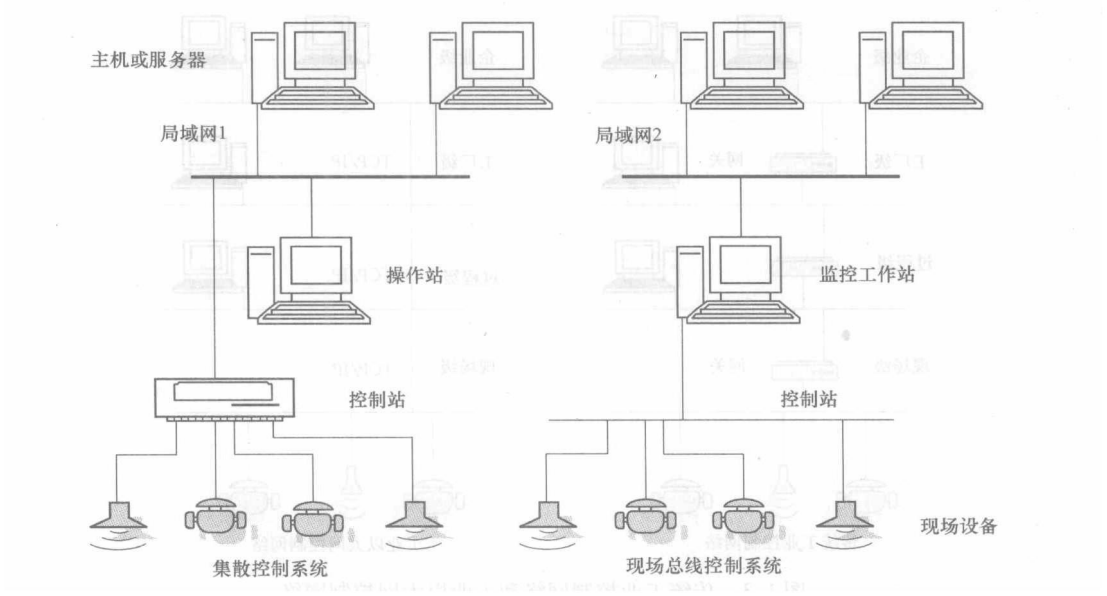


图 1-2 集散控制系统和现场总线控制系统

实现企业级管控一体化，系统功能组态会变得相对复杂；第三，FCS 在本质安全、系统可靠性、数据传输速度等方面存在一些技术瓶颈或不符合现代企业对信息的要求。

随着工业自动化系统向分布化、智能化控制方面发展，开放的、透明的通信协议是必然的要求。而以太网（Ethernet）具有传输速度高、低耗、易于安装、兼容性好、软硬件产品丰富和支持技术成熟等方面的优势，几乎支持所有流行的网络协议，所以在商业系统中被广泛采用。因此，近些年来以太网逐渐进入控制领域，形成了新型的以太网控制网络技术。

以太网技术引入工业控制领域，其技术优势非常明显。

1）以太网是全开放、全数字化的网络，遵照网络协议，不同厂商的设备可以很容易实现互连。

2）以太网能实现工业控制网络与企业信息网络的无缝连接，形成企业级管控一体化的全开放网络，如图 1-3 所示。

3）软硬件成本低廉。由于以太网技术已经非常成熟，支持以太网的软硬件受到厂商的高度重视和广泛支持，有多种软件开发环境和硬件设备供用户选择。

4）通信速率高。随着企业信息系统规模的扩大和复杂程度的提高，对信息量的需求也越来越大，有时甚至需要音频、视频数据的传输，目前标准以太网的通信速率为 10Mbit/s，100Mbit/s 的快速以太网已广泛应用，千兆以太网技术也逐渐成熟，10Gbit/s 的以太网也正在研究，其速率比目前的现场总线快很多。

5）可持续发展潜力大。在这信息瞬息万变的时代，企业的生存与发展在很大程度上依赖于一个快速而有效的通信管理网络。随着信息技术与通信技术的发展更加迅速，也更加成熟，保证了以太网技术不断地持续向前发展。

以太网进入工业控制领域，同样也存在一些问题。

1）实时性问题。以太网采用载波监听多路访问/冲突检测（CSMA/CD）的介质访问控制方式，其本质上是非实时的。一条总线上有多个节点平等竞争总线，等待总线空闲。这种

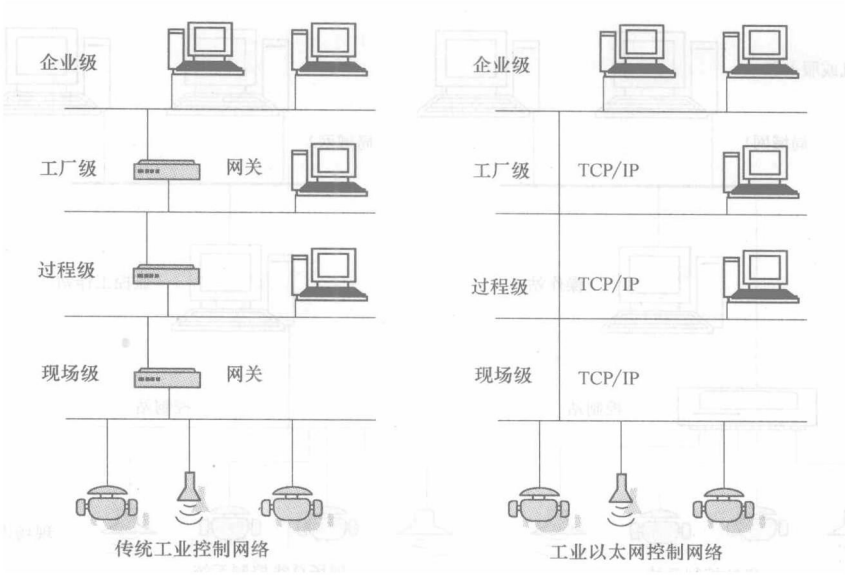


图 1-3 传统工业控制网络和工业以太网控制网络

方式很难满足工业控制领域对实时性的要求。这成为以太网技术进入工业控制领域的技术瓶颈。

2）对工业环境的适应性与可靠性。以太网是按办公环境设计的，需要使抗干扰能力、外观设计等符合工业现场的要求。

3）适用于工业自动化控制的应用层协议。目前，信息网络中应用层协议所定义的数据结构等特性不适合应用于工业过程控制领域现场设备之间的实时通信。因此，还需定义统一的应用层规范。

4）本质安全和网络安全。工业以太网如果用在易燃易爆的危险工作场所，必须考虑本质安全问题。另外，工业以太网由于使用了 TCP/IP 协议，因此可能会受到包括病毒、黑客的非法入侵与非法操作等网络安全威胁。

5）服务质量（QoS）问题。随着技术的进步，工厂控制底层的信号已不局限在单纯的数字和模拟量上，还可能包括视频和音频，网络应能根据不同用户需求及不同的内容适度地保证实时性的要求。

1.3 传统控制网络——现场总线的发展

1.3.1 现场总线的定义

现场总线是网络技术向工业生产现场发展的产物，是在市场需求的背景下发展起来的新型技术。具有全数字化、分散、双向传输和多分支的特点，其关键标志是能支持双向、多节点、总线式的全数字通信。现场总线技术综合运用微处理器技术、网络技术、通信技术和自动控制技术，把专用微处理器引入传统的现场仪表，使它们各自都具备数字计算和数字通信能力，成为能独立承担某些控制、通信任务的网络节点。

现场总线的概念是随着微电子技术的发展，数字通信网络延伸到工业生产现场成为可能后，于1984年左右提出的。根据国际电工委员会IEC 1158定义（后改为IEC 61158），现场总线是“安装在生产过程区域的现场设备、仪表与控制室内的自动控制装置、系统之间的一种串行、数字式、多点通信的数据总线”。或者说，现场总线是应用在生产现场、连接智能现场设备和自动化测量控制系统的数字式、双向传输、多分支结构的网络系统与控制系统，它以单个分散的、数字化、智能化的测量和控制设备作为网络节点，用总线相连接，实现相互交换信息，共同完成自动控制功能。其中“生产过程”应包括断续生产过程和连续生产过程两类。现场设备、仪表指位于现场层的传感器、驱动器、执行机构等设备。因此，现场总线是面向工厂底层自动化及信息集成的数字化网络技术。

1.3.2 现场总线技术的发展历程

1983年，霍尼韦尔公司推出了智能化仪表，它在原模拟仪表的基础上增加了具有计算功能的微处理器芯片，在输出的4～20mA直流信号上叠加了数字信号，使现场与控制室之间的模拟信号变为数字信号。之后，世界上各大公司推出了各种智能仪表。智能仪表的出现为现场总线的诞生奠定了基础。

1984年美国Intel公司提出一种计算机分布式控制系统——位总线（BITBUS），它主要是将低速的面向过程的输入输出通道与高速的计算机多位总线系统分离，形成了现场总线的最初概念。20世纪80年代中期，美国罗斯蒙特公司（ROSEMOUNT）开发了一种可寻址的远程传感器（HART）通信协议，采用在4～20mA模拟量上叠加一种频率信号，用双绞线实现数字信号传输。HART协议成为现场总线的雏形。1985年由霍尼韦尔和博威科等大公司发起，成立了WorldFIP组织并制定了FIP协议。1987年，以西门子、罗斯蒙特、横河等几家著名公司为首也成立了一个专门委员会ISP（互操作系统协议）并制定了PROFIBUS协议。后来美国仪器仪表学会也制定了现场总线标准IEC/ISA SP50。随着时间的推移，世界上逐渐形成了两个针锋相对的现场总线集团：一个是以西门子、罗斯蒙特、横河为首的ISP集团；另一个是由霍尼韦尔、博威科等公司牵头的WorldFIP集团。1994年，ISP集团和WorldFIP集团的北美分部宣布合并，融合成现场总线基金会，简称FF。对于现场总线的技术发展和制定标准，FF取得以下共识：共同制定遵循IEC/ISA SP50协议标准；商定现场总线技术发展阶段时间表。

现场总线发展迅速，现处于群雄并起、百家争鸣的阶段。围绕着现场总线技术的标准化，世界上各大厂商展开了激烈竞争，并主要形成了FF和PROFIBUS两大阵营，都希望能够统一整个世界市场，但未能成功。经过14年的纷争，IEC的现场总线标准化组织经投票，最后通过妥协出现了协调共存、共同发展的局面，以下这8种现场总线成为IEC 61158现场总线标准，即FF H1、ControlNet、PROFIBUS、INTERBUS、P－Net、WorldFIP、SwiftNet和FF的高速以太网规范（HSE）。其中，P－Net和SwiftNet是专用总线；PROFIBUS、ControlNet、WorldFIP和INTERBUS是从PLC发展而来的；而FF和HSE是从传统DCS发展而来的。这8种现场总线采用的通信协议完全不同，因此，要实现这些总线的兼容和互操作是十分困难的。事实上，目前国际上有40多种现场总线，如INTERBUS、DeviceNet、MODBUS、Arcnet、P－Net、ISP等，其中最具影响力的有5种，分别是FF、PROFITBUS、HART、CAN和LonWorks。这些现场总线中还没有任何一种现场总线能覆盖所有的应用面，按其传输数

据的大小可分为三类：传感器总线，属于位传输；设备总线，属于字节传输；现场总线，属于数据流传输。

由于技术出发点不同，目前，现场总线大都有各自的应用范围与应用领域。主要现场总线的应用领域如图 1-4 所示。

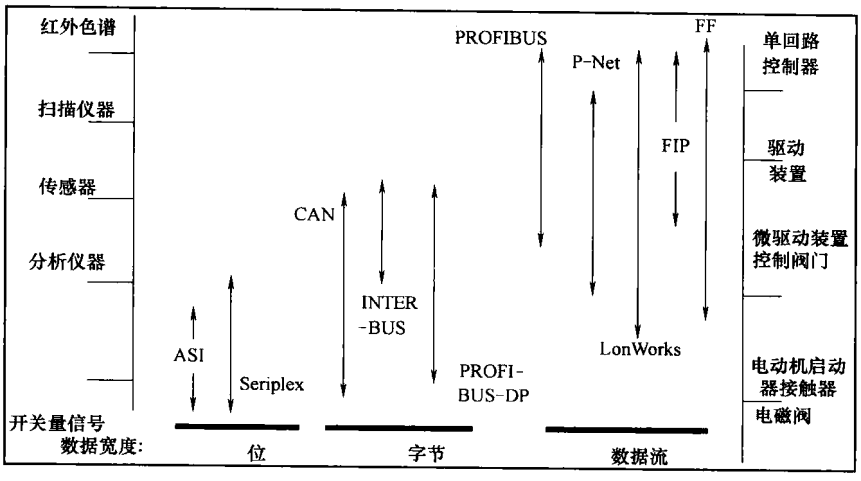


图 1-4 主要现场总线的应用领域

主要的现场总线的应用范围如下。

过程控制：FF、PROFIBUS－PA、HART、WorldFIP。

制造业自动化：PROFIBUS－DP、INTERBUS。

农业、养殖业、食品加工业：P－NET。

楼宇自动化：LonWorks、PROFIBUS－DP。

汽车检测、控制：CAN。

航空航天检测与控制：SwiftNet。

1.3.3 现场总线技术的发展趋势

现场总线技术的发展体现在两个方面：一方面是低速现场总线领域的继续发展和完善；另一方面是高速现场总线技术的发展。

目前，现场总线产品主要是低速总线产品，应用于运行速率较低的领域，对网络的性能要求不是很高。从应用状况看，无论是 FF 和 PROFIBUS，还是其他一些现场总线，都能较好地实现速率要求较低的过程控制。因此，在速率要求较低的控制领域，任何一种现场总线都很难统一整个世界市场。而现场总线的关键技术之一是互操作性，实现现场总线技术的统一是所有用户的愿望。

高速现场总线主要应用于控制网络的互连，连接控制计算机、PLC 等智能程度较高、处理速度快的设备，以及实现低速现场总线网桥间的连接，它是充分实现系统的全分散控制结构所必须的。

近年来，以太网作为现场总线的中高层通信网络已形成共识，IEC 61158 现场总线标准的 8 种现场总线都在各自修改其应用层协议，支持 IEC 61784 规范，争取通过高层协议达到

相互兼容的目的，从而使 IEC 61158 成为一个基本统一的、由多部分组成的标准。

随着以太网技术、现场总线技术的发展，已经出现了由 PROFIBUS 等现场总线与以太网构建的“一网到底”工业控制网络系统，如图 1-5 所示，从而使得工厂的高层管理人员能直接获得工业生产现场的控制信息，实现工厂管理与生产现场的无缝集成。

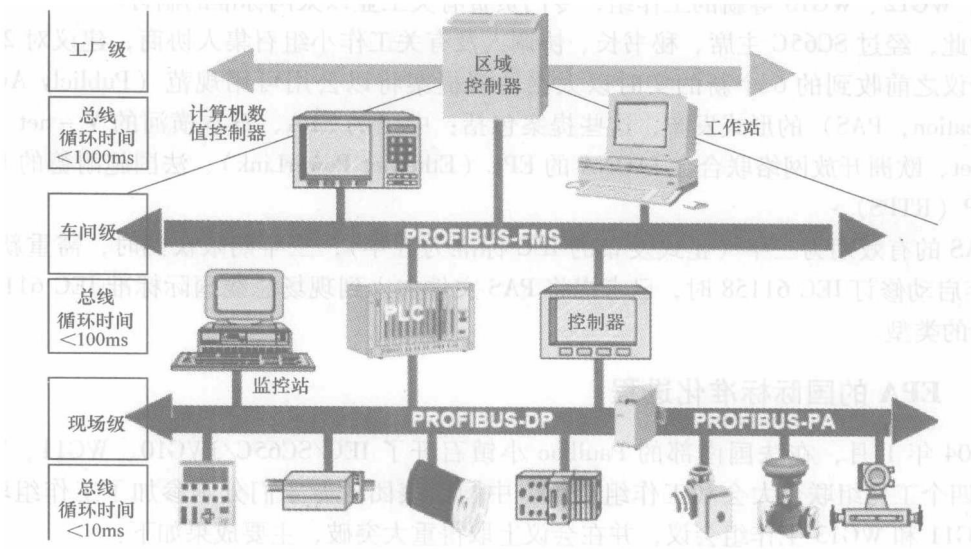


图 1-5 PROFIBUS 综合自动化网络系统的典型体系结构

1.4 现代控制网络——工业以太网的发展

1.4.1 工业以太网标准化进程

商用以太网经过十几年的发展，已具有以下优势：

1）开放性。采用公开的标准和协议。

2）平台无关性。具有伸缩性，可以选择不同厂家、不同类型的设备和服务。

3）提供多种信息服务。提供电子邮件、WEB、FTP 等多种信息服务。

4）图形用户界面。统一、友好、规范化的图形界面，操作简单，易学易用。

近年来工业以太网的兴起，引起了自动控制领域的重视，同时许多人担心工业以太网标准的不统一会影响其渗透到自动控制网络的应用。现场总线标准争了十多年，工业以太网标准或许也会这样。下一步向工业以太网发展，也有可能形成的多种类型的协议标准，分别是由主要的现场总线生产厂商和集团支持开发的，如以下几种：

1）FF 和 WorldFIP 向 HSE 发展。

2）ControlNet 和 DeviceNet 向 EtherNet/IP 发展。

3）INTERBUS 和 MODBUS 向 IDA 发展。

4）PROFIBUS 向 PROFINET 发展。

这些工业以太网标准，都有其支持的厂商并且目前已有相应产品。一些国际组织正在进