



全国高等职业教育工业生产自动化技术系列规划教材

经典系列

# 现场总线与工业以太网技术

许洪华 主 编  
杨春生 副主编  
卞正岗 主 审

(第2版)

 中国工信出版集团

 电子工业出版社  
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY  
<http://www.phei.com.cn>

全国高等职业教育工业生产自动化技术系列规划教材

# 现场总线与工业以太网技术

## (第2版)

许洪华 主 编

杨春生 副主编

卞正岗 主 审

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

## 内 容 简 介

本书从应用和实施角度,根据实际需要不同层次介绍了基金会 FF、PROFIBUS-DP 和 CAN 三种现场总线以及典型的工业以太网技术。FF 中介绍组网、设备、组态运行、工程实施等实用技术;PROFIBUS-DP 总线中以西门子 S7-300 为例,直观地介绍实施 PROFIBUS-DP 通信的硬件资源、软件组态和编程;CAN 总线中介绍了芯片级规范和技术。书中最后介绍了工业以太网的主要技术、西门子工业以太网通信实施实例以及一种基于以太网和嵌入式 Web Server 产品的实现。

本书可作为高职高专院校自动化类专业的教学用书,也可作为工程技术人员现场总线系统集成、组态以及产品开发的参考资料。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。  
版权所有,侵权必究。

### 图书在版编目(CIP)数据

现场总线与工业以太网技术/许洪华主编. —2 版. —北京:电子工业出版社, 2015.4

全国高等职业教育工业生产自动化技术系列规划教材

ISBN 978-7-121-25813-8

I. ①现… II. ①许… III. ①总线—自动控制系统—高等职业教育—教材②工业企业—以太网—高等职业教育—教材 IV. ①TP273②TP393.11

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 068859 号

策划编辑:王昭松(wangzs@phei.com.cn)

责任编辑:王昭松

印 刷:涿州市京南印刷厂

装 订:涿州市京南印刷厂

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本:787×1 092 1/16 印张:13.75 字数:352 千字

版 次:2007 年 3 月第 1 版

2015 年 4 月第 2 版

印 次:2015 年 4 月第 1 次印刷

印 数:3 000 册 定价:32.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010) 88258888。

## 第2版前言

《现场总线与工业以太网技术》一书自2007年出版以来,被众多院校选为教材,在使用过程中,读者提出了很多宝贵的意见和建议,在此表示深深的感谢。高等职业教育的特点是注重培养学生的实际操作能力和分析问题、解决问题的能力。“现场总线与工业以太网技术”是自动化类专业重要的专业课程,课程的应用性和实用性较强,对于培养学生的岗位能力和专业素质具有重要作用。现场总线与工业以太网技术涉及面广,产品和技术繁杂,有效且高效地组织教学内容至关重要。本书在编写过程中充分考虑高等职业教育人才培养要求和课程特点,力图在以下几个方面体现特色:

(1) 以典型现场总线技术和产品为蓝本,展现主流技术和行业应用。现场总线种类繁多,多标准并存,面面俱到难以实现知识传授到位。考虑到目前相关技术应用的实际情况,本书选取基金会现场总线FF、PROFIBUS-DP、CAN和典型工业以太网技术作为主要内容,力争展现主流应用和主流技术。

(2) 结合所选现场总线技术特点和应用特点,组织多层面内容。经过多年发展,多种现场总线都形成了自己的技术、市场和应用领域。本书在每种现场总线技术讲解中,针对应用需求,在系统集成、设备使用、通信组网、结点开发等不同层面按岗位应用需要组织内容。

(3) 遵循认知规律,循序渐进展开内容。在现场总线技术和系统的内容组织中,通过实例展现系统、通过分析系统学习技术、通过学习开发方案理解技术,由浅入深、由整体到局部,按认知规律安排内容。

(4) 按照人才培养要求,培养综合能力。自动化类专业人才培养的一个重要特点和要求是知识的系统性和能力的综合性。本书内容涉及芯片、仪表、网络通信、自动化系统等多个方面,并将这些内容有机融合到不同现场总线技术讲解中,以满足综合能力培养的要求。

本书由吴凤泉(第1章)、许洪华(第2章、第5章部分)、张志柏(第3章、第5章第3节)、杨春生(第4章)编写,由许洪华任主编,杨春生任副主编。卞正岗先生对本书进行了审阅,提出了大量宝贵意见。本书编写中,秦益霖、赵红毅给予大量帮助,在此表示感谢;本书编写过程中也参阅了同行编写的优秀教材,得到了不少启发,在此一并致以诚挚的感谢!

由于作者水平有限,加之现场总线和工业以太网技术在不断发展之中,书中内容难免有不当之处,敬请广大读者和同行批评指正。

编者

2015年2月

# 目 录

第 1 章 工业数据通信和控制网络技术基础	(1)
1.1 工业数据通信和控制网络技术概述	(1)
1.1.1 工业自动化技术及其发展趋势	(1)
1.1.2 控制系统体系结构的演变	(4)
1.1.3 工业数据通信与控制网络	(8)
1.2 工业数据通信和控制网络连接及传输介质	(10)
1.2.1 计算机局域网及其拓扑结构	(10)
1.2.2 网络的传输介质及其特性	(13)
1.2.3 信号的传输和编码技术	(17)
1.2.4 介质访问控制方式	(23)
1.3 网络互连参考模型和规范	(25)
1.3.1 基本概念	(25)
1.3.2 网络互连参考模型	(26)
1.3.3 网络互连规范	(30)
思考题	(31)
第 2 章 基金会现场总线	(32)
2.1 概述	(32)
2.1.1 基金会现场总线发展背景、特点及其应用情况	(32)
2.1.2 一个典型的工程实例	(33)
2.1.3 FF 现场总线技术分析	(35)
2.2 基金会现场总线网络设备与安装	(39)
2.2.1 网络拓扑结构	(39)
2.2.2 主要连接件和接口设备	(40)
2.2.3 电缆、布线和电源	(44)
2.3 基金会现场总线组态基础	(54)
2.3.1 基本概念	(54)
2.3.2 系统管理和网络管理	(55)
2.3.3 基金会现场总线的编程语言	(64)
2.3.4 链路活动调度执行组态	(70)
2.4 基金会现场总线仪表及其应用	(71)
2.4.1 基金会现场总线仪表简介	(71)
2.4.2 现场仪表功能块及其常用参数	(79)
2.4.3 功能块的组态	(86)
2.4.4 一个典型的控制系统组态	(88)
2.4.5 基金会现场总线工程与设计	(92)
思考题	(100)

第 3 章 PROFIBUS 通信技术 .....	(102)
3.1 PROFIBUS 通信简介 .....	(102)
3.2 掌握 S7-300 PLC 的 PROFIBUS 通信方法 .....	(103)
3.2.1 直接利用 I/O 口实现小于 4 字节的直接 PROFIBUS 通信 .....	(103)
3.2.2 系统功能 SFC14、SFC15 的 PROFIBUS 通信应用 .....	(112)
3.2.3 通过 CP 342-5 实现 PROFIBUS 通信 .....	(118)
3.3 多个 S7-300 之间 PROFIBUS 通信的实现 .....	(133)
3.3.1 资源需求 .....	(133)
3.3.2 硬件连接 .....	(133)
3.3.3 网络组态及参数设置 .....	(134)
思考题 .....	(141)
第 4 章 CAN 总线 .....	(142)
4.1 概述 .....	(142)
4.1.1 CAN 的工作原理及其特点 .....	(142)
4.1.2 CAN 发展背景及其应用情况 .....	(144)
4.1.3 一个典型的工程实例 .....	(145)
4.2 CAN 的物理层 .....	(146)
4.2.1 CAN 的网络拓扑 .....	(146)
4.2.2 CAN 的物理媒体连接 .....	(147)
4.3 CAN 协议规范 .....	(147)
4.3.1 基本术语 .....	(149)
4.3.2 CAN 的报文及其结构 .....	(150)
4.3.3 CAN 的位仲裁技术 .....	(156)
4.4 典型 CAN 总线器件及其应用 .....	(156)
4.4.1 SJA1000 CAN 控制器 .....	(156)
4.4.2 PCA82C250 CAN 收发器 .....	(165)
4.4.3 CAN-bus 结点设计举例 .....	(169)
思考题 .....	(173)
第 5 章 工业以太网 .....	(174)
5.1 概述 .....	(174)
5.1.1 工业以太网发展背景及其应用情况 .....	(174)
5.1.2 工业以太网的主要技术 .....	(175)
5.1.3 几种典型的工业以太网简介 .....	(177)
5.2 典型的工业以太网实时通信技术 .....	(180)
5.2.1 PROFINet 的实时通信解决方案 .....	(181)
5.2.2 Powerlink 的实时通信解决方案 .....	(182)
5.2.3 EPA 的实时通信解决方案 .....	(183)
5.3 基于 S7-300 PLC 的工业以太网通信 .....	(185)
5.3.1 西门子工业以太网硬件基本情况 .....	(185)
5.3.2 西门子支持的网络协议和服务 .....	(186)

5.3.3	S7-300 PLC 进行工业以太网通信所需的硬件与软件 .....	(189)
5.3.4	S7-300 PLC 利用 S5 兼容的通信协议进行工业以太网通信 .....	(189)
5.3.5	S7-300 PLC 利用 S7 通信协议进行工业以太网通信 .....	(201)
5.4	基于以太网和嵌入式 Web Server 的控制器开发 .....	(207)
5.4.1	基于以太网和嵌入式 Web Server 的控制器硬件组成 .....	(207)
5.4.2	Modbus/UDP 主-从通信程序设计 .....	(208)
5.4.3	嵌入式 Web Server 及表单程序设计 .....	(209)
	思考题 .....	(212)
	参考文献 .....	(213)

# 工业数据通信和控制网络技术基础

本章主要介绍了工业数据通信和控制网络的基础知识。结合工业自动化系统的体系和发展状况,介绍了工业数据通信和控制网络的地位、作用和技术内容;同时还按照工业自动化应用的需求,介绍了网络拓扑、通信模型、信号编码、传输介质等基础知识。

## 1.1 工业数据通信和控制网络技术概述

工业数据通信与控制网络是近年来发展形成的自控领域的网络技术,是计算机网络、通信技术与自控技术结合的产物。随着自动控制、计算机、通信、网络等技术的发展,企业的信息集成系统正在迅速扩大,将覆盖从现场控制到监控、市场、经营管理的各个层次以及原料采购、生产加工的各个环节,并将一直延伸到成品储运销售乃至世界各地市场的供需链全过程,以适应企业管理控制一体化应用的需求。企业信息系统的发展对工业数据通信的开放性、对底层控制网络的功能及性能都提出了更高的要求。工业数据通信与控制网络技术正是在这种形势下逐渐发展形成的。

### 1.1.1 工业自动化技术及其发展趋势

工业控制自动化技术是工业自动化的核心,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的技术,它主要包括工业自动化软件、硬件和系统三大部分。工业控制自动化技术作为20世纪现代制造领域中最重要的一项技术,主要解决生产效率与一致性问题。虽然自动化系统本身并不直接创造效益,但它对企业生产过程有明显的提升作用。目前,工业控制自动化技术正在向智能化、网络化和集成化方向发展。

#### 1. 以工业 PC 为基础的低成本工业控制自动化已成为主流

工业控制自动化主要包含三个层次,从下往上依次是基础自动化、过程自动化和管理自动化,其核心是基础自动化和过程自动化。在传统的自动化系统中,基础自动化部分基本被 PLC 和 DCS 所垄断,过程自动化和管理自动化部分主要由价格昂贵的过程计算机或小型机组成。然而,自20世纪90年代以来,由于 PC-based 的工业计算机(简称工业 PC)的发展,以工业 PC、I/O 装置、监控装置和控制网络组成的 PC-based 的自动化系统得到了迅速普及,成为实现低成本工业自动化的重要途径。

工业 PC 是基于商用微型计算机或个人电脑,并采用了总线式结构、工业标准机箱和工业级元器件等诸多满足工业控制需求的实用技术。以工业 PC 为基础的低成本工业控制自动化系统的特点是:开放的结构,用户可以选择来自不同厂商的不同产品,为应用提供更大的



系统柔性，便于系统集成；PC 工控机的软、硬件丰富，用户可以得到更高性价比的产品；提供有力、柔性的联网能力，可以使用标准 TCP/IP 以太网和网卡；能运行复杂任务（如趋势分析），并且可基于多种平台运行，如 Windows NT、Windows CE 和 Linux 等。目前，我国的许多大企业已拆除了原来的 DCS 或单回路数字式调节器，而改用工业 PC 来组成控制系统，并采用模糊控制算法，获得了良好效果。

## 2. PLC（可编程序控制器）得到了广泛的应用

PLC 是由继电器逻辑控制系统发展而来的，初期主要代替继电器控制系统，侧重于开关量顺序控制，后来，随着微电子技术、大规模集成电路技术、计算机技术和通信技术的发展，PLC 在技术上和功能上发生了极大的变化。在逻辑运算的基础上，增加了数值计算、闭环调节等功能；增加了模拟量和 PID 调节等功能模块，实现了顺序控制和过程控制的结合；运算速度得到提高，新型 PLC 的 CPU 在性能上已经赶上了工业控制机；开发了智能 I/O 模块，实现了 PLC 之间、PLC 与上位机之间以及 PLC 与其他智能设备之间的通信，由此发展了多种局部总线和网络，也可构成集散控制系统。上述性能特点使其在工业控制自动化领域得到了广泛的应用。

现代 PLC 的发展有两个主要趋势：其一是向体积更小、速度更快、功能更强和价格更低的微小型方面发展；其二是向大型网络化、高可靠性、好的兼容性和多功能性方面发展。具体有以下几个方面。

(1) 大型网络化。主要是朝 DCS 方向发展，使其具有 DCS 系统的一些功能。网络化和通信能力强是 PLC 发展的一个重要方面，向下可将多个 PLC、I/O 框架相连；向上可与工业计算机、以太网等相连构成整个工厂的自动化控制系统。

(2) 多功能性。随着自调整、步进电机控制、位置控制、伺服控制、仿真、通信处理和故障诊断等模块的出现，PLC 在控制领域的应用范围会变得更加宽广。

(3) 高可靠性。由于控制系统的可靠性日益受到人们的重视，一些公司已将自诊断技术、冗余技术、容错技术广泛应用到现有产品中，推出了高可靠性的冗余系统，并采用热备用和并行工作、多数表决的工作方式。即使在恶劣、不稳定的工作环境下，坚固、全封闭的模板依然能够正常工作。在操作运行过程中，有些 PLC 的模板还支持热插拔。

## 3. 面向测控管一体化设计的集散控制系统

集散控制系统，也称为分布式控制系统或分散式控制系统，它采用标准化、模块化和系列化的设计，由过程控制级、控制管理级和生产管理级组成，以通信网络为纽带，对数据进行集中显示，而操作管理和控制相对分散，是一种配置灵活、组态方便、具有高可靠性的控制系统，其特点可总结为：分散控制、集中操作、分级管理、分而自治和综合协调。

DCS 正朝着综合性、开放性的方向发展。工业自动化要求加强各种设备（计算机、DCS、单回路调节器、PLC 等）之间的通信能力，以便构成大系统。开放性的结构便于各种设备与管理的上位计算机进行数据交换，实现计算机集成制造系统，进而在大型 DCS 进一步完善和提高了的同时，发展小型集散控制系统。随着电子技术的发展，结合现代控制理论并应用人工智能技术，以微处理器为基础的智能设备相继出现，如智能变送器、可编程调节器、智能 PID 调节器、自整定控制器、智能人机接口及智能 DCS 等。DCS 总的发展趋势可体现在以下几个方面。

(1) 各制造厂商都在“开放性”上下工夫,力求使自己的 DCS 与其他厂商的产品易于联网。

(2) 大力发展和完善 DCS 的通信功能,并将生产过程控制系统与工厂管理系统连接在一起,形成测控管理一体的系统产品。

(3) 高度重视系统的可靠性,在软件的设计中采用容错技术。

(4) 在控制功能中,不断引进各种先进控制理论,以提高系统的控制性能,如自整定、自适应、最优和模糊控制等。

(5) 在系统规模的结构上,形成由小到大的产品,以适应不同规模的需求。

(6) 发展以先进网络通信技术为基础的 DCS 控制结构,向低成本综合性自动化系统的方向发展。

#### 4. 大力发展和采用现场总线技术

现场总线是一种用于智能化现场设备和自动化系统的开放式、数字化、双向串行、多结点的通信总线。采用现场总线技术可实现一种具有开放式、数字化和网络化结构的新型自动控制系统。

现场总线技术的采用带来了工业控制系统技术的革命。采用现场总线技术可以促进现场仪表的智能化、控制功能分散化、控制系统开放化,符合工业控制系统领域的技术发展趋势。现场总线技术使得从智能传感器到智能调节阀的信号一直保持数字化,从而极大地提高了抗干扰能力。利用双绞线作为现场总线,既能传输现场总线上仪表设备与上位机的通信信号,还能为现场总线上的智能传感器/变送器、智能执行器、可编程控制器、可编程调节器等装置供电。现场总线是一种开放式的互联网,它可与同层网络相连,也可与不同层网络相连,只要配有统一的标准数字化总线接口并遵守相关通信协议的智能设备和仪表,都能并列地接入现场总线。

开放式、数字化和网络化结构的现场总线控制系统,由于具有降低成本、组合扩展容易、安装及维护简便等显著优点,从问世开始就在生产过程自动化领域引起极大的关注。现场总线控制系统是继 DCS 之后控制系统的又一次重大变革,必将成为工业自动化发展的主流,会对工业自动化领域的发展产生极其深远的影响。

#### 5. 大力研究和发​​展智能控制系统

理论上,工业自动化中工业控制系统的设计和分析是建立在精确的系统数学模型基础上的,而实际应用的控制系统由于各种因素的影响,无法获得精确的数学模型,同时,为了提高控制性能,整个控制系统会变得极其复杂,增加了设备的投资,降低了系统的可靠性。人工智能的出现和发展,促进了自动控制向更高的层次发展,即智能控制。智能控制是模拟人类学习和自适应的能力,能学习、存储和运用知识,能在逻辑推理和知识推理的基础上进行信息处理,能对复杂系统进行有效的全局性控制,能自主地驱动智能机器实现其目标的过程。智能控制系统的研究范围很广泛,普遍认为模糊逻辑控制、专家控制和神经网络控制是三种典型的智能控制。此外,还有分级递阶智能控制系统、学习控制系统等,有关智能控制系统方面的内容,读者可参考相关的书籍加以学习。

## 1.1.2 控制系统体系结构的演变

### 1. 控制系统的发展过程

在工业控制系统的发展过程中，每一代新的控制系统的推出都是针对老一代控制系统存在的缺陷而给出的解决方案，同时也代表着技术的进步和效能的提高。工业控制系统在其发展过程中大致可划分为以下几个阶段。

(1) 初级控制系统。20 世纪 50 年代以前，由于工业生产规模较小，各类检测、控制仪表处于发展的初级阶段，生产设备以机械设备为主，所用的设备主要是安装在生产现场、具有简单测控功能的基地式仪表，信号基本上都是在仪表内起作用（主要是显示功能），一般不能传送给其他的仪表或系统，各测控点为封闭状态，无法与外界沟通信息，操作人员只能通过通过对生产现场的巡检来了解生产过程的运行状况。此阶段的控制系统均较简单，称为初级控制系统。

(2) 模拟仪表控制系统。随着测量技术、电子技术的发展和工业生产规模的不断扩大，操作人员需要了解和掌握更多的现场参数与信息，制定满足要求的操作控制系统。于是，在 20 世纪 60 年代至 20 世纪 70 年代后期，先后出现了以电子管、晶体管、集成电路为核心的气动和电动单元组合式仪表两大系列。它们分别以压缩空气和直流电源作为动力，用于对防爆要求较高的化工生产和其他行业，防爆等级为本质安全型，并以气压信号 0.02~0.1MPa，直流电流信号 0~10mA、4~20mA，直流电压信号 0~5V、1~5V 等作为仪表的标准信号，在仪表内部实行电压并联传输，外部实行电流串联传输，以减小传输过程的干扰。电动单元仪表通常以双绞线为传输介质，信号被送到集中控制室（通常称为仪表室或机房）后，操作人员可以坐在控制室内观察生产流程中各处的生产参数并了解整个生产过程。由于单元组合仪表具有统一的输入/输出信号标准，在此阶段自动化系统可以根据生产需要，由各种功能单元进行组合，完成各种相对复杂的控制。

(3) 集中式数字控制系统。20 世纪 80 年代初，计算机、微处理器和并行处理技术的发展，使得领先一对一物理连接的模拟信号系统在速度和数量上越来越无法满足大型、复杂系统的需求，模拟信号的抗干扰能力也相对较差，人们开始使用数字信号代替模拟信号，并研制出直接数字控制系统，用数字计算机代替控制室内的仪表来完成控制系统功能。由于数字计算机价格昂贵，人们总是用一台计算机取代控制室的所有仪表，于是出现了集中式数字控制系统，从而解决了信号传输及抗干扰问题。由于当时数字计算机的可靠性还不够高，一旦计算机出现某种故障，就会造成系统崩溃、所有控制回路瘫痪、生产停产的严重局面。由于工业生产很难接受这种危险高度集中的系统结构，使得集中控制系统的应用受到一定的限制。

(4) 集散控制系统 (DCS)。随着计算机可靠性的提高和价格的下降，自控领域又出现了新型控制方案——集散控制系统，它由数字调节器、可编程控制器以及多台计算机构成，当一台计算机出现故障时，其他计算机立即接替该计算机的工作，使系统继续正常运行。在集散控制系统中，系统的风险被分散由多台计算机承担，避免了集中控制系统的高风险，提高了系统的可靠性。因此，它被工业生产过程广泛接受，这就是今天正在被许多企业采用的 DCS 系统。在 DCS 系统中，测量仪表、变送器一般为模拟仪表，控制器多为数字式，因而它又是一种模拟数字混合系统。这种系统与模拟式仪表控制系统、集中式数字控制系统相比较，在功能、性能和可靠性上都有了很大的进步，可以实现现场装置级、车间级的优化控制。但是，

在 DCS 系统形成的过程中，由于受早期计算机发展的影响，各厂家的产品自成封闭体系，即使在同一种协议下仍然存在不同厂家的设备有不同的信号传输方式且不能互连的现象，因此实现互换与互操作有一定的局限性。

(5) 现场总线控制系统 (FCS)。现场总线控制系统突破了 DCS 通信由专用网络的封闭系统来实现所造成的缺陷，将基于封闭、专用的解决方案变成了基于公开化、标准化的解决方案，即将来自不同厂商而遵守同一协议规范的自动化设备通过现场总线控制系统把 DCS 集中与分散结合的集散系统结构变成了新型全分布式系统结构，把控制功能彻底下放到现场。

现场总线之所以具有较高的测控性能，一是得益于仪表的智能化，二是得益于设备的通信化。把微处理器置入现场自控设备，使设备具有数字计算和数字通信能力，一方面提高了信号的测量、控制和传输精度；另一方面丰富了测控信息的内容，为实现其远程传送创造了条件。在现场总线的环境下，借助设备的计算、通信能力，在现场就可进行许多复杂计算，形成真正分散在现场的完整的控制系统，提高了控制系统运行的可靠性。此外，还可借助现场总线网段与其他网段进行联网，实现异地远程自动控制，如远程操作电气开关、进行参数的设定等。系统还可提供阀门开关动作次数、故障诊断信息等，便于操作管理人员更好、更深入地了解生产现场和自控设备的运行状态，这在传统仪表控制系统中是无法实现的。现场总线控制系统结构与传统控制系统结构的区别如图 1.1 所示。

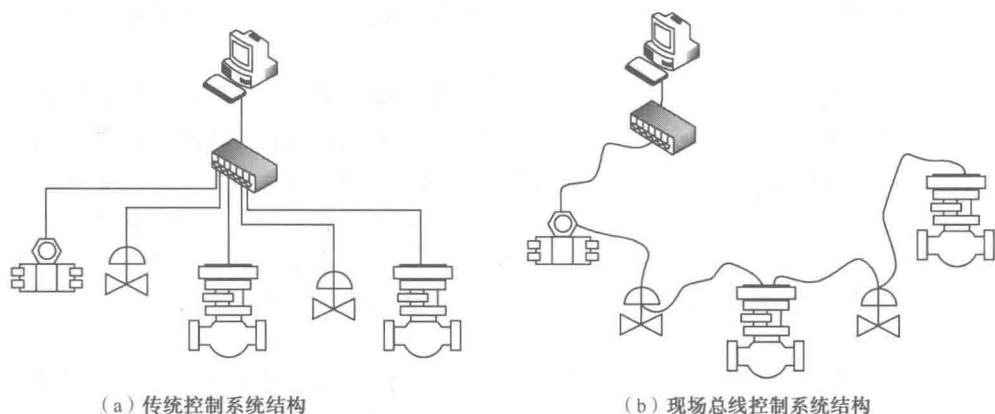


图 1.1 现场总线控制系统结构与传统控制系统结构的比较

## 2. 现场总线控制系统及现场总线技术的特点

现场总线是连接智能现场设备和自动化系统的数字式、双向传输、多分支结构的通信网络。也有将现场总线定义为应用在生产现场，在智能测控设备之间实现双向串行多结点数字通信的系统，也称为开放式、数字化、多点通信的低成本底层控制系统。现场总线的特点主要体现在两方面，一是在体系结构上成功实现了串行连接，一举克服并行连接的许多不足；二是在技术层面上成功解决了开放竞争和设备兼容两大难题，实现了现场设备智能化和控制系统分散化两大目标。

(1) 现场总线控制系统体系结构的特点。

① 基础性。在企业实施信息集成、实现综合自动化的过程中，作为工厂底层网络的现场总线是一种能在现场环境下运行的可靠、实时、廉价、灵活的通信系统，能够有效地集成

到 TCP/IP 信息网络中，现场总线是企业强有力的控制和通信的基础设施。

② 灵活性。现场总线打破了传统控制系统的结构形式，使控制系统的设计、建设、维护、重组和扩容变得更加灵活简便。传统模拟控制系统采用一对一的并行连线，按控制分别进行连接，如图 1.1 (a) 所示。位于现场的测量变送器与位于控制室的控制器之间，控制器与位于现场的执行器、开关、电动机之间均为一对一的物理连接，每个装置需单独使用一条线，因此形成了庞大的线束。由于现场布线的复杂性，因此传统控制系统在设计之初需一次性规划好布线的数量和走向，一旦实施就具有刚性，不便于调整和维护，提高了投入的门槛，不利于滚动发展。

③ 现场总线系统由于采用智能现场设备，能够把传统控制系统中处于控制室的控制模块、I/O 模块和通信模块移置到现场设备中，使现场设备能够在一条总线上串行连接起来直接传送信号，完成控制功能，如图 1.1 (b) 所示。这样一来，系统布线就由几十条、上百条甚至上千条简化为一条，这不仅简化了设计施工，方便了修理维护，也降低了系统投入的门槛，大大提高了系统的可靠性和灵活性。增减现场设备只需直接将设备挂上总线或将设备从总线取下即可，不必另行布线。

④ 分散性。由于现场总线中智能现场设备具有高度的自治性，因而控制系统功能可以不依赖控制室的计算机或控制仪表而直接在现场完成，实现了彻底的分散控制。另外，由于现场设备具有网络通信功能，这使得把不同网络中的现场设备和不同地理范围中的现场设备组成一个控制系统成为可能。因此，现场总线已构成一种新的全分散性控制系统的体系结构，具有高度的分散性。

⑤ 经济性。由于现场总线通信用数字信号代替了模拟信号，因而可通过复用技术在一条总线上传输多个信号，同时还可在这条总线上为现场设备供电，原来的大量集中式 I/O 部件均可省去。这就为简化控制系统的体系结构，节约硬件设备和连接电缆提供了可能，并将各种安装和维护费用降至最低。另外，由于投入门槛的降低和重构灵活性的提高，使得现场总线的资产投入不会产生浪费，大大提高了经济性。最后，由于现场设备的开放性，设备价格不会被厂家垄断；由于现场设备的互换性，备品库也可大大降低。

## (2) 现场总线技术的特点。

① 开放性。现场总线的开放性有三层含义。一是指相关标准的一致性和公开性。一致开放的标准有利于不同厂家设备之间的互连与替换；二是系统集成的透明性和开放性，用户进行系统设计、集成和重构的能力大大提高；三是产品竞争的公正性和公开性，用户可按自己的需要和评价，选用不同供应商的产品组成大小随意的系统。

② 交互性。现场总线设备的交互性有三层含义。一是指上层网络与现场设备之间具有相互沟通的能力；二是指现场设备之间具有相互沟通的能力，即具有互操作性；三是指不同厂家的同类设备可以相互替换，即具有互换性。

③ 自治性。由于智能仪表将传感测量、补偿计算、工程量处理与控制等功能下载到现场设备中，因此一台单独的现场设备即具有自动控制的基本功能，可以随时诊断自己的运行状况，实现功能的自治。

④ 适应性。安装在工业生产第一线的现场总线是专为恶劣环境而设计的，对现场环境具有很强的适应性，具有防电、防磁、防潮和较强的抗干扰能力，可满足本质安全防爆要求，可支持多种通信介质，如双绞线、同轴电缆、光缆、射频、红外线、电力线等。

### 3. 典型现场总线简介

自 20 世纪 80 年代中期以来,世界上有许多国家和集团、企业开展现场总线标准的研究,并出现了多种有影响的现场总线标准。这些现场总线标准都各有特点,并在特定范围内产生了非常大的影响,也显示出了较强的生命力。目前,世界上尚未有一个统一的现场总线标准,下面介绍几种有代表性的现场总线。

(1) 基金会现场总线 (FF)。基金会现场总线是在过程自动化领域得到广泛应用和具有良好发展前景的技术。其前身是以美国 Fisher-Rosemount 公司为首,联合 Foxboro、横河、ABB、西门子等 80 家公司制定的 ISP 协议和以美国 Honeywell 公司为首,联合欧洲等地的 150 家公司制定的 WordFIP 协议。1994 年 9 月两大集团合并,成立了现场总线基金会,总部设在美国德克萨斯州的奥斯汀,该基金会聚集了世界著名仪表、DCS 和自动化设备制造商、研究机构和最终用户。由于这些公司是该领域自控设备的主要供应商,对工业底层网络的功能需求了解透彻,也具备足以左右该领域现场自控设备发展方向的能力,因此该基金会自成立以来,工作进展比较快,推动了现场总线的研究和产品开发。FF 是一个非商业的公正的国际标准化组织,其宗旨是制定统一的国际现场总线标准,为世界上任何一个制造商或用户提供现场总线标准,因而由它们所颁布的现场总线规范具有一定的权威性。

(2) PROFIBUS。PROFIBUS 是德国国家标准 DIN19245 和欧洲标准 EN50170 的现场总线标准。它由 PROFIBUS-DP、PROFIBUS-FMS 和 PROFIBUS-PA 组成 PROFIBUS 现场总线系列。DP 型用于分散外设间的高速数据传输,适合于加工自动化领域的应用。FMS 型意为现场信息规范,适用于纺织、楼宇自动化、可编程控制器、低压开关等。而 PA 型则是用于过程自动化的总线类型,它遵从 IEC 1158-2 标准。该项技术由以西门子公司为主的十几家德国公司、研究所共同推出。

(3) CAN。CAN 是控制局域网 (Control Area Network) 的简称,最早由德国 BOSCH 公司推出,用于汽车内部测量与执行部件之间的数据通信。其总线规范已被 ISO 国际标准化组织制定为国际标准。由于得到了 Motorola、Intel、Philips、Siemens、NEC 等公司的支持,已广泛应用在离散控制领域。目前,已有多家公司开发生产了符合 CAN 协议的通信芯片,如 Intel 公司的 82527、Motorola 公司的 MC68HC908AZ60Z 和 Philips 公司的 SJA1000 等,还有插在 PC 上的 CAN 总线适配器,具有接口简单、编程方便、开发系统价格便宜等优点。

(4) LonWorks。LonWorks 现场总线技术是由美国 Echelon 公司推出,并与摩托罗拉和东芝公司共同倡导,于 1990 年正式公布的。Echelon 公司的策略是鼓励 OEM 开发商运用 LonWorks 技术和神经元芯片,开发自己的应用产品,据称,目前已有 2 600 多家公司在不同程度上使用 LonWorks 技术,1 000 多家公司已推出了 LonWorks 产品,并进一步组成 LonMARK 互操作协会开发和推广 LonWorks 技术与产品。LonWorks 技术已被广泛应用在楼宇自动化、家庭自动化、保安系统、办公设备、交通运输、工业过程控制等行业。另外,在开发智能通信接口和智能传感器等方面,LonWorks 神经元芯片也具有独特的优势。

(5) HART。HART (Highway Addressable Remote Transducer) 协议为可寻址远程传感器数据通路通信协议,它最早由 Rosemount 公司开发并得到 80 多家著名仪表公司的支持和加盟,于 1993 年成立了 HART 通信基金会。其特点是在现有模拟信号传输线上实现数字信号通信,使用模拟系统向数字系统转变过程中的过渡性产品,因而在当前的过渡时期具有较强的市场竞争力,得到了较快的发展。

上面简单介绍了五种常用的现场总线技术，另外还有 DeviceNet、ControlNet、CC-Link 等多种总线技术，它们各有其特点和应用领域。由于现场总线的应用领域广阔，要求不同，再考虑到每种总线产品的投资效应和各公司的商业利益，预计在今后一段时间内，会出现多种总线标准共存，同一生产现场有几种异构网络互连通信的局面。但发展共同遵守的统一标准规范，真正形成开放互连系统，是大势所趋。

### 1.1.3 工业数据通信与控制网络

#### 1. 工业数据通信

通信系统用于设备与设备、设备与人、人与人之间的信息传递。早期的通信系统可以追溯到利用烽火台的火光与烟雾来传递信息的远古时期。电的发明与使用为通信系统的发展提供了有效的工具。现代通信系统一般都运用电子或电力设备在两点或多点之间传递信息。

数据通信是指在两点或多点之间以二进制形式进行信息交换的过程。近年来随着计算机技术的发展，特别是互联网的出现，以数据交换为主的计算机数据通信技术得到迅猛发展。因而在实际应用中，数据通信一般是指计算机通信，用于计算机与计算机之间、计算机与打印机等外设之间传递各种文件信息。

在工业生产过程中，除了计算机与外围设备，还存在大量检测工艺参数数值与状态的变送器和控制生产过程的控制设备，在这些测量、控制设备的各功能单元之间、设备与设备之间以及这些设备与计算机之间，遵照通信协议、利用数据传输技术传递数据信息的过程，一般称为工业数据通信。工业数据通信传送的数据内容通常是生产装置运行参数的测量值、控制量、阀门的工作位置、开关状态、报警状态、设备的资源与维护信息、系统组态、参数修改、零点和量程调校信息等。如图 1.2 所示为工业数据通信系统的一个简单示例。图中温度变送器（发送设备）将生产现场运行温度测量值传送到监控计算机（接收设备）。这里的报文内容为所传送的温度值，中间的连接电缆为传输介质，通信协议则是事先以软件形式存在于计算机和温度变送器内的一组程序。可以看出，它与普通计算机通信、电报与话务通信既有较大区别又有密切的联系。因而可以认为，工业数据通信是工业自动化领域内的通信技术。

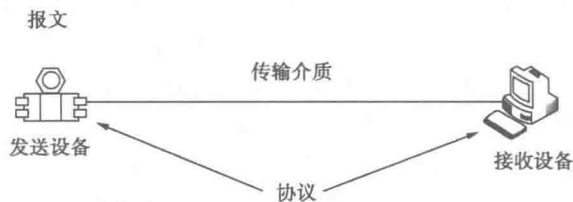


图 1.2 工业数据通信系统示例图

工业数据通信系统有些比较简单，包括几个结点；有些比较复杂，包括成千上万个结点。例如，一个汽车组装生产线可能有多达 25 万个 I/O 点，石油炼制过程中的一个普通装置也会有上千台测量控制设备。这些结点间进行多点通信时，往往并不是在每对通信结点间建立直达线路，而是采用网络连接形式构建数据通道，于是产生了数据通信网络。这种结点众多的数据通信系统一般都采用串行通信方式。串行数据通信的最大优点是经济。两根导线上挂接数十、上百甚至更多的传感器、执行器，具有安装简单、通信方便的优点。这两根实现串行

数据通信的导线就称之为总线。总线上除了传输测量控制的数值外，还可以传输设备状态、参数调整和故障诊断等信息。

## 2. 控制网络

(1) 控制网络与现场总线。工业数据通信是由早期的通信系统演化而来，但控制网络却是近年发展形成的。应该说，工业数据通信是控制网络的基础和支撑条件，是控制网络技术的重要组成部分。在这个意义上也可以把工业数据通信与控制网络一并称为控制网络。它是在现场总线的基础上发展形成的，具有比现场总线一词更宽更深的技术内涵。作为当今工业自动化领域的热点技术，“现场总线”一词已经为业内人士广泛认知，成为工业数据通信与控制网络的代名词。随着现场总线技术的不断发展和内容的不断丰富，各种控制、应用功能与功能块、控制网络的网络管理、系统管理等内容的不断扩充，现场总线已经超出了原有的定位范围，不再只是通信标准与通信技术，而成为网络系统与控制系统。与互联网的结合使控制网络又进一步拓宽了视野和作用范围，不再局限于局域网。此时，现场总线一词已难以完整地表达控制网络现今的技术内涵。但毕竟现场总线已经成为这一领域人们熟知的代名词，在某些应用场合也能很好地体现其技术内容，因而这里对它们不做具体区别。控制网络可以简单地概括为将多个分散在生产现场，具有数字通信能力的测量控制仪表作为网络结点，采用公开、规范的通信协议，以现场总线作为通信连接的纽带，把现场控制设备连接成为可以相互沟通信息，共同完成自控任务的网络系统与控制系统。简单控制网络的示意图如图 1.1 (b) 所示。它既是一个位于生产现场的网络系统，网络在各控制设备之间构筑起沟通数据信息的通道，在现场的多个测量控制设备之间以及现场控制设备与监控计算机之间实现工业数据通信，又是一个以网络为支撑的控制系统，依靠网络在传感测量、控制计算机、执行器等功能模块之间传递输入/输出信号，构成完整的控制系统，完成自动控制的各项任务。从图 1.1 (b) 中可以看出，控制网络的组成成员比较复杂。除了普通的计算机、工作站、打印机、显示终端外，大量的网络结点是各种可编程控制器、开关、电动机、变送器、阀门、按钮等。其中大部分结点的智能程序远不及计算机，有的现场控制设备内嵌有 CPU 专用芯片，有的只是功能相当简单的非智能设备。控制网络是一类特殊的网络系统，广泛应用于离散、连续制造业、交通、楼宇、家电以及农、林、牧、渔等行业。

(2) 控制网络在企业网络系统中的地位、作用及特点。企业网络的结构按功能分为信息网络层和控制网络层，其体系结构如图 1.3 所示。信息网络层位于企业网络的上层，是企业数据共享和传输的载体。它主要完成现场信息的集中显示、操作、组态、过程优化计算和参数修改，并担负着包括工程技术、经营、商务和人力等方面的总体协调和管理工作。控制网络层位于企业网络的下层，由 HART、PROFIBUS 等现场总线网段组成，与信息网络紧密地集成在一起，服从信息网络的指挥，同时又具有独立性和完整性。它的实现既可以采用工业以太网技术，也可以采用现场总线技术，或者采用工业以太网技术与现场总线技术的结合。其作用是把工业现场的实时参数传送到信息网络中，以进行数据的分析、计算和显示。

控制网络相对于信息网络而言主要有如下特点。

① 控制网络中数据传输的及时性和系统响应的实时性是控制系统的最基本要求。一般来说，过程控制系统的响应时间要求为 0.01~0.5s，制造自动化系统的响应时间要求为 0.5~2.0s，信息网络的响应时间要求为 2.0~6.0s。在信息网络的大部分使用中实时性是忽略的。



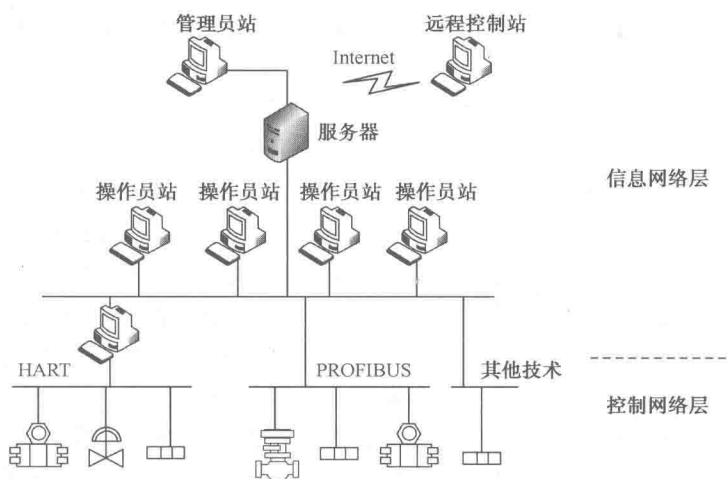


图 1.3 企业网络体系结构

② 控制网络强调在恶劣环境下数据传输的完整性、可靠性。控制网络应具有在高温、潮湿、震动、腐蚀和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、跌落和尖峰干扰等。在易燃易爆场合，控制网络还应具有本质安全性能。

③ 控制网络必须解决多家公司产品和系统在同一网络中的互操作问题。

## 1.2 工业数据通信和控制网络连接及传输介质

### 1.2.1 计算机局域网及其拓扑结构

#### 1. 计算机网络与计算机局域网

(1) 计算机网络发展。计算机网络是计算机技术、通信技术相互渗透、相互促进的产物，诞生于 20 世纪 60 年代，它的发展经历了一个从简单到复杂、从单机到多机的演变过程，即从最初为了解决远程计算、信息的收集和处理而出现的单机多终端远程联机系统开始，逐步形成了将多台具有自主处理能力的中心计算机相互连接起来，实现以资源共享为目的的计算机通信网络，最后发展到现代具有统一网络体系结构并遵循国际标准的开放式、标准化计算机网络。人们从计算机网络的这几个发展阶段中，把计算机网络的概念归纳为：用通信手段将空间上分散的、具有独立处理能力的多台计算机系统互连起来，按照某种网络协议进行数据通信，以进行信息交换、实现资源共享和协同工作的计算机系统的集合。由此可见，计算机网络的概念主要包含以下几方面的含义。

① 计算机网络必须是两台或两台以上的具有独立功能的计算机系统的集合。其中，具有独立处理能力的计算机系统是指每个计算机系统能独立工作，能够自我处理数据，而无须其他系统的帮助，它们之间不存在主从关系。

② 网络中的计算机系统空间上是分散的，既有可能在同一张桌子上，一栋楼宇中，也有可能处于不同的城市、不同的大陆。