



天津市高校“十五”规划教材

工业控制网络 与现场总线技术

陈在平 岳有军 编著

 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



天津市高校“十五”规划教材

工业控制网络与现场总线技术

陈在平 岳有军 编著



机械工业出版社

进入 21 世纪, 工业控制网络技术的应用与发展, 对于现代工业企业实现网络化控制以及网络制造具有重要的促进作用。本书以典型工业控制网络结构为基线, 阐述典型工业控制网络的基本模式, 突出工业控制网络技术的特点与优势, 介绍工业控制网络与一般网络从结构特点到应用实现的区别。在追踪国内外该领域理论与技术发展的基础上, 阐述在国内处于主流地位的几种工业现场总线的相关理论知识、技术以及应用系统设计等方面的内容。重点介绍罗克韦尔自动化公司与西门子公司工业控制网络(现场总线)的相关技术及其应用, 以及工业控制网络系统的集成技术。对于近年来出现的属于前沿知识领域的网络化控制系统的分析与设计也进行了阐述, 使本书从知识层面上具有一定的前瞻性与延伸性。

本书主要是为了满足当前高等学校自动化、电气工程以及机械电子类等相关专业本科高年级学生的教学需要, 也可供研究生与工程技术人员阅读与学习。

图书在版编目(CIP)数据

工业控制网络与现场总线技术/陈在平, 岳有军编著.

—北京: 机械工业出版社, 2006.2

天津市高校“十五”规划教材

ISBN 7-111-18421-1

I. 工... II. ①陈...②岳... III. ①生产过程—自动控制系统—高等学校—教材②总线—自动控制系统—高等学校—教材 IV. TP278

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 005564 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑: 孙流芳 罗莉 版式设计: 张世琴 责任校对: 张晓蓉

封面设计: 陈沛 责任印制: 李妍

北京铭成印刷有限公司印刷

2006 年 3 月第 1 版第 1 次印刷

787mm × 1092mm 1/16 · 16.25 印张 · 402 千字

0001—4000 册

定价: 28.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

本社购书热线电话(010)68326294

编辑热线: 88379768

封面防伪标均为盗版

前 言

信息时代各类新的理论与技术发展日新月异,数字化、智能化、网络化等新技术与理论代表着当今自动控制理论与技术发展的主流方向,而工业控制网络技术正是促使工业控制系统顺应这一发展要求的重要方面。这一新理论与技术的出现,标志着自动化技术领域的又一个新时代的开端,并将对该领域的发展产生重要影响。

本书以网络理论与技术为基础,以典型工业控制网络结构为基线,阐述典型工业控制网络的基本模式,突出工业控制网络技术的特点与优势,介绍工业控制网络与一般网络从结构特点到应用实现的区别。在追踪国内外该领域理论与技术发展的基础上,阐述在国内处于主流地位的若干种工业现场总线的相关理论知识、技术以及应用系统设计等方面的内容。重点介绍罗克韦尔自动化(Rockwell Automation)公司与西门子公司工业控制网络(现场总线)的相关技术及其应用,以及工业控制网络系统的集成技术。对于近年来出现的属于前沿知识领域的网络化控制系统的分析与设计也进行了较详细的阐述,使本书从知识层面上具有一定的前瞻性与延伸性。

工业控制网络技术在工业控制系统的应用与发展,对于现代工业企业生产实现网络化控制具有重要的促进作用,同时也开辟了自动化理论与技术在21世纪的又一个新的领域。因而在高等院校自动化、电气工程以及机械电子类专业急需将这类知识引入教学之中,以适应21世纪自动化理论与技术的应用与发展,同时相关工程技术人员也十分需要学习掌握这方面的知识。编写此书的目的就是为了满足当前高校相关专业的教学与工程技术人员的学习需要。

本书是作者在多年教学与科研工作的基础上,并借鉴国内外相关领域的专家学者的研究成果完成的。全书共分7章,其中第1、2、6、7章及第5章部分内容由陈在平教授负责撰写,第3、4章及第5章的部分内容由岳有军副教授负责撰写,全书由陈在平定稿。在本书的编写过程中,张建峰、刘凉、尹迅雷、姚晓伟、贾超等人为本书的完成付出了辛勤的工作,对此向他们表示由衷的谢意。

本书是天津市“十五”重点规划教材之一,该书的编写与出版得到了天津市教委的资助。本书的出版获得了机械工业出版社的大力支持,作者对此表示衷心的感谢。

由于作者水平所限,加之所涉及的内容可供借鉴的材料较少,书中难免存在各种缺点或不足,恳请读者给予批评指正。

作 者

目 录

前言

第 1 章 工业控制网络概论	1
1.1 概述	1
1.1.1 工业控制网络的发展	1
1.1.2 工业控制网络与企业网	2
1.2 典型工业企业网	3
1.2.1 工业企业网的产生和发展背景	3
1.2.2 工业企业网的基本概念和特性	4
1.2.3 工业企业网的发展历程	5
1.2.4 控制网络与信息网络的互连	5
1.2.5 工业企业网的体系结构	7
1.3 工业控制网络	9
1.4 工业以太网	12
习题	14
第 2 章 工业控制网络技术基础	15
2.1 局域网技术	15
2.1.1 局域网概述	15
2.1.2 局域网拓扑结构	16
2.2 局域网协议	19
2.2.1 ISO/OSI 参考模型与标准	19
2.2.2 控制网络的 IEEE 802 标准	25
2.2.3 OSI 参考模型与现场总线通信模型	26
2.2.4 控制网络的介质访问控制方法	28
2.2.5 OSI 参考模型与 TCP/IP 参考模型的比较	33
2.3 局域网互连技术	34
2.3.1 典型的局域网传输介质	34
2.3.2 网络互连设备	39
2.4 交换式控制网络技术	42
2.4.1 交换式控制网络技术概述	42
2.4.2 网络交换技术的工作原理	42
2.4.3 网络数据交换设备	44
2.4.4 交换式控制网络	46

2.4.5 ATM 交换控制网络	47
习题	48
第 3 章 典型现场总线技术	49
3.1 LonWorks 现场总线	49
3.1.1 LonWorks 概述	49
3.1.2 LonWorks 技术简介	50
3.1.3 LON 网络产品	62
3.2 控制器局域网总线	62
3.2.1 CAN 的性能特点	62
3.2.2 CAN 的技术规范	63
3.2.3 CAN 总线有关器件介绍	77
3.2.4 CANopen 高层协议	78
3.3 Profibus 现场总线	80
3.3.1 Profibus 概述	80
3.3.2 Profibus 技术简介	81
3.4 控制及信息协议(CIP)	101
3.4.1 CIP 网络概述	101
3.4.2 CIP 的特点	103
3.4.3 CIP	106
3.4.4 CIP 设备描述	113
3.5 DeviceNet 现场总线	114
3.5.1 DeviceNet 概述	114
3.5.2 DeviceNet 技术特性	115
3.5.3 DeviceNet 现场总线和 CAN 现场总线	132
3.5.4 DeviceNet 产品介绍	133
3.5.5 DeviceNet 网络通信实例	134
3.6 ControlNet 现场总线	141
3.6.1 ControlNet 概述	141
3.6.2 ControlNet 技术特性	143
3.6.3 ControlNet 产品介绍	156
习题	158
第 4 章 控制网络系统的构建与实现	159
4.1 概述	159

4.2 现场总线控制网络的性能比较	160	网络和信息的集成	210
4.3 以太控制网络系统 与工业以太网	162	5.3.4 控制网络和信息网络集成采用 数据库访问技术	211
4.3.1 面向自动化的主干控制网络—— 以太控制网络系统	162	5.3.5 控制网络和信息网络集成 采用 OPC 技术	211
4.3.2 以太网向现场层的延伸——工业 以太网	164	5.3.6 控制网络与信息网络互连集成 的若干关键问题	211
4.4 工业以太网通信设备	176	习题	212
4.4.1 罗克韦尔自动化公司工业 以太网产品	176	第 6 章 网络控制系统的分析	213
4.4.2 西门子公司工业以太网产品	177	6.1 网络控制系统问题概述	213
4.5 基于现场总线的控制网络设计	178	6.1.1 网络控制系统中的基本问题	214
4.5.1 Profibus 现场总线网络的构建	178	6.1.2 NCS 中的时延组成分析	215
4.5.2 DeviceNet 现场总线网络的构建	185	6.1.3 网络控制系统的拥塞问题	216
4.5.3 ControlNet 现场总线网络的构建	185	6.1.4 网络控制系统的调度	217
4.5.4 基于 Ethernet/IP 的工业 以太网组网	186	6.2 网络控制系统稳定性概述	219
4.5.5 多种现场总线网络的构建	188	6.3 时延对网络控制系统的影响	220
4.6 系统设计示例	190	6.3.1 概述	220
4.6.1 Rockwell 网络在火力发电厂辅助 系统改造中的应用	190	6.3.2 存在网络时延的闭环系统模型	221
4.6.2 Profibus 网络在污水处理厂自动化 控制中的应用	192	6.4 采样速率对网络控制系统 稳定性的影响	223
习题	196	6.5 数据包丢失对网络控制系统 稳定性的影响	225
第 5 章 控制网络集成技术	197	6.5.1 概述	225
5.1 DCS 网络与现场总线控制 网络的集成	197	6.5.2 存在数据包丢失的网络控制 系统的建模与稳定性	226
5.2 现场总线控制系统网络之 间的集成	198	6.6 信息传递的时间间隔对系统 稳定性的影响	227
5.2.1 OPC 技术基础	198	6.6.1 问题的一般描述	228
5.2.2 基于 OPC 技术的系统级 集成方法	205	6.6.2 连续系统状态反馈稳定性分析	229
5.2.3 设备级集成	206	6.6.3 全状态反馈系统的网络状态 信息更新时间	230
5.3 控制网络和信息的集成	208	6.6.4 系统矩阵 M 特征根分析	232
5.3.1 控制网络和信息网络之间 加入转换接口	208	6.6.5 输出反馈控制	233
5.3.2 基于 DDE 技术的控制网络和 信息网络的集成	208	6.6.6 离散时间域系统分析	236
5.3.3 采用统一的协议标准实现控制		习题	239
		第 7 章 网络控制系统设计	240
		7.1 概述	240
		7.2 网络控制系统的结构与模型	240
		7.2.1 网络控制系统的基本结构	240

7.2.2 带有时延的网络控制 系统模型	241	7.4 网络控制系统仿真研究	244
7.3 网络控制系统状态观测器 的设计	242	习题	246
		缩略语	247
		参考文献	252

第 1 章 工业控制网络概论

1.1 概述

1.1.1 工业控制网络的发展

工业控制网络技术是在工业生产的现代化要求情况下提出与发展起来的，与计算机技术、控制技术和网络技术的发展密切相关。计算机技术从它产生的那天起就开始了在工业控制领域中的应用。20 世纪 60 年代，人们利用微处理器和一些外围电路构成了数字仪表以取代模拟仪表，这种控制方式被称为直接数字控制 (Direct Digital Control——DDC)，这种控制方式提高了系统的控制精度和控制的灵活性，而且在多回路的巡回采样及控制中具有传统模拟仪表无法比拟的性能价格比。20 世纪 80 年代中后期，随着工业系统的日益复杂，控制回路的进一步增多，单一的 DDC 系统已经不能满足现场的生产控制要求和生产工作的管理要求；同时中小型计算机和微机的性能价格比有了很大提高。于是，由中小型计算机和微机共同作用的分层控制系统应运而生。在分层控制系统中，由微机作为前置机去对工业设备进行过程控制，由中小型计算机对生产工作进行管理，从而实现了控制功能和管理信息的分离。当控制回路数目增加时，前置机及其与工业设备的通信要求就会急剧增加，从而导致这种控制系统的通信变得相当复杂，使系统的可靠性大大降低。

由于计算机网络技术的迅猛发展，同时也因为生产过程和控制系统的进一步复杂化，人们将计算机网络技术应用到了控制系统的前置机之间以及前置机和上位机的数据传输中。前置机仍然完成自己的控制功能，但它与上位机之间的数据(上位机的控制指令和控制结果信息)传输采用计算机网络实现。上位机在网络中的物理地位和逻辑地位与普通站点一样，只是完成的逻辑功能不同。另外，上位机增加了系统组态功能，即网络的配置功能。这样的控制系统称为集散控制系统 (Distributed Control System——DCS)。DCS 是计算机网络技术在控制系统中的应用成果，提高了系统的可靠性和可维护性，在今天的工业控制领域仍然占据着相当地位。然而不可忽视的是，DCS 采用的是普通商业网络的通信协议和网络结构，在解决工业控制系统的自身可靠性方面没有做出实质性的改进，为加强抗干扰和可靠性采用了冗余结构，从而提高了控制系统的成本；另外，DCS 不具备开放性且布线复杂、费用高。

20 世纪 80 年代后期，人们针对 DCS 所存在的缺点，在 DCS 的基础上开始开发一种适用于工业环境的网络结构和网络协议，并实现传感器、控制器层的通信，这就是现场总线 (Field-Bus)。由于现场总线从根本上解决了网络控制系统的自身可靠性问题，现场总线技术逐渐成为网络化控制系统的发展趋势。从那时起，一些发达的工业国家和跨国公司都纷纷推出自己的现场总线标准和相关产品，形成了“群雄逐鹿”之势。

然而随着人们对工业控制系统的要求越来越高，加之系统更加复杂，国际上许多著名的

自动化公司开发出较为复杂的多层结构的工业控制网络，如美国罗克韦尔自动化公司所提出的3层网络结构，以满足生产实际的要求。事物总是一分为二的，虽然多层网络可以使得各层网络根据各自的主要任务选择不同特性的网络规范，做到有的放矢。然而这样势必造成网络结构较为复杂，从而产生新的问题。所以在这种情况下，控制网络又出现了开始向扁平化方向发展的趋势。特别是随着工业以太网技术的逐渐成熟，将来出现采用工业以太网的一网到底结构的控制网络也不会太令人感到震惊。

1.1.2 工业控制网络与企业网

工业控制网络是网络技术在工业控制领域中的具体应用，它是工业企业网中的一个重要组成部分。目前对于这类网络体系结构还没有形成统一的模式，就大多数人的认识而言，工业企业网的结构体系一般采用3种形式。

1) 信息网络与控制网络统一组网，然后通过路由器与设备网(现场总线)进行互连互通，构成工业企业网，其基本结构如图1-1所示。

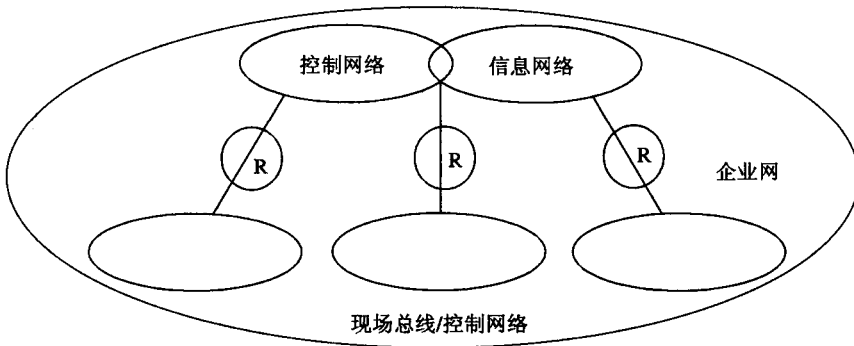


图 1-1 通过互连构建一体化的企业网

2) 现场设备的控制采用嵌入式系统加以实现，该嵌入式系统具有网络通信能力的接口，能够实现与控制网的信息交换，而控制网与信息网统一构建组网形成工业企业网，其结构如图1-2所示。

3) 现场总线与内联网(Intranet)集成。在该方案中，动态数据库一方面，根据现场信息，动态地修改自身的数据；另一方面，接收监控站的控制信息对其进行处理并送往现场。同时，为了保证控制的实时性，控制信息也可直接下送至现场，这种网络结构如图1-3所示。

由上述结构可以看出，工业控制网络实际上是工业企业网的重要组成部分。从工业企业网角度看，工业企业网的总体结构可以将其看成为上下两层的结构形式，即位于上层的信息网与位于下层的控制网。当然，控制网还可进一步划分为控制层与设备层。下面将分别对其加以简要介绍。

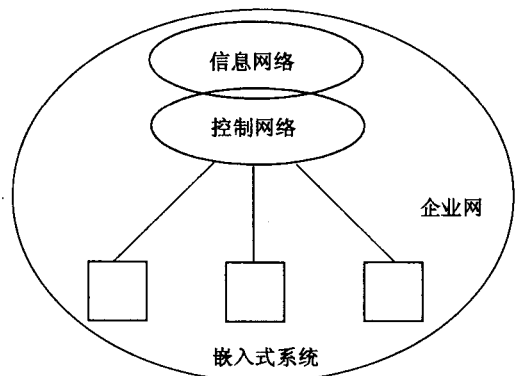


图 1-2 通过控制网络构建一体化的企业网

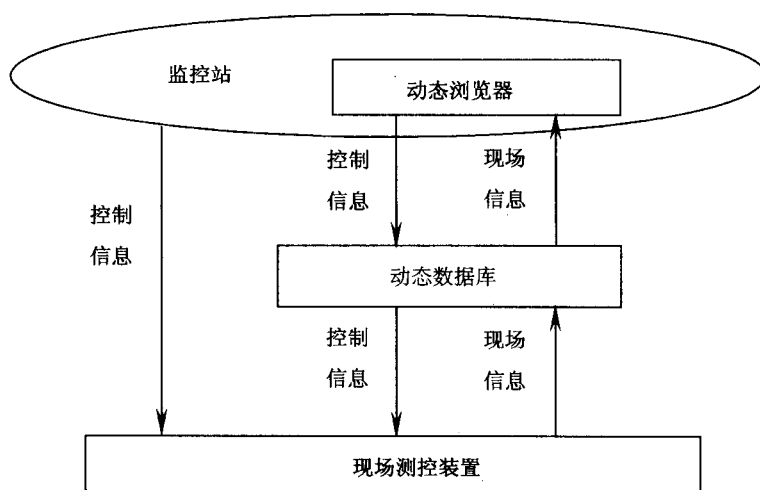


图 1-3 现场总线控制网络与 Intranet 信息网络的集成方案

1.2 典型工业企业网

纵观企业组织和管理模式的发展，它经历了从“分层递阶式”向“分布化”、“扁平化”的发展过程，而且将进一步向“网络化”和“动态重构化”的方向发展。“虚拟企业”、“敏捷制造”、“分散网络化”等概念便是这种组织与管理模式的体现，同时也是时代发展的要求与技术推动的结果。而这种组织模式最终是由工业企业网作为支撑的。

1.2.1 工业企业网的产生和发展背景

1. 需求背景

目前，企业网已渗透到国民经济的各个领域，它的发展和应用，对企业的产业结构、经营管理方式将产生变革性的影响，它也将成为衡量一个企业科技水平和综合力量的重要标志，企业网的应用不仅可以改造传统产业，提高产品的附加值，而且对推动企业的发展、促进产业经济信息化也将起到关键性的作用。因此，在各类企业中应用企业网技术将是我国应该长期坚持的方针，企业网在企业的生存和发展中占有重要的战略地位。

从需求上来说，作为企业信息基础设施的企业网越来越被企业所重视，企业的需求呼唤着企业网的产生和发展。

从 19 世纪中叶起，信息已成了一项至关重要的资源要素，在当前市场经济条件下，企业要实现管理现代化，要在激烈的市场竞争中求得生存和发展，就必须善于收集信息、处理信息、利用信息、开发信息资源。在一个企业的管理过程中，信息是企业预测的基础，预测必须以信息为起点和终点，才能进行分析、演绎和逻辑推理，并进而得到有用的信息；信息又是企业决策的前提，要使决策者做出正确并切实可行的决策，就必须及时掌握全面可靠的信息，否则决策就成了无源之水、无本之木，将导致决策的失误。可以说，在现代经济社会里，谁先掌握了正确的信息，谁就有可能做出正确的决策，谁就掌握了经营的主动权。同时，信息也是指挥和控制生产经营活动的依据，从一定意义上说，企业生产经营活动的好坏在于管理者驾驭信息能力的强弱。可见，信息是一项重要的资源，在现代社会，充分有效地

利用信息资源是一个组织取得成功的重要条件。而企业网作为企业的信息基础设施恰恰适应了这种需要,能够满足企业对信息的获取、分析和决策的要求。

此外,对于工业企业来说,要想在激烈的市场竞争中求得生存和发展,必须改善其过程控制和产品制造模式,依靠虚拟制造、虚拟企业和大大提高自动化水平来实现规模经营和灵活经营,从而降低产品成本,提高企业经营效益。而企业网实现了企业各部门之间以及企业与外界之间的有效联系,实现了现场控制网络与管理信息网络之间的有效联系,为虚拟制造和虚拟企业的建立创造了条件。以现场总线为基础的现场控制网络使过程控制满足了准确性、可靠性、开放性的要求,大大提高了其自动化水平。因此,工业企业呼唤着工业企业网的产生。

2. 技术背景

从技术上来说,飞速发展的计算机技术、网络与通信技术和控制技术推动着企业网技术的产生和发展。工业企业网正是这3种技术在企业中的融合和应用。

(1) 计算机技术 计算机技术特别是微机技术在最近几年获得了突飞猛进的发展,其运算速度越来越快,存储容量越来越大,软件资源越来越丰富,应用领域越来越广泛,同时伴随着多媒体技术的发展,它已被用于教育、科研、生产、商业、娱乐等各个领域,走进了人们生活的每个角落。同时,计算机作为信息处理的工具,它不是孤立存在的,按照某种规则和要求建立起来的计算机网络更显示了其强大的功能。

(2) 网络与通信技术 高速宽带网的出现大大提高了通信效率,交换以太网、快速以太网、吉位以太网、光纤分布式数据接口(Fiber Distributed Data Interface——FDDI)和异步传输方式(Asynchronous Transfer Mode——ATM)等网络技术逐渐成熟和完善,使得人们不仅可传输数据、文本,而且可传输声音、图像、视频等多媒体信息。更重要的是,飞速发展的因特网(Internet)对人们的生活观念、生活方式、工作方式产生了革命性的影响,人们已经越来越离不开网络。

(3) 控制技术 20世纪80年代末问世的现场总线是过程控制技术、仪表技术和计算机网络技术结合的产物。由于通信协议参照了国际标准化组织/开放系统互连(International Standard Organization/Open System Interconnection——ISO/OSI)参考模型7层结构,使得现场总线可以与上层办公信息网集成到一起,从而使过程自动化、楼宇自动化,甚至家庭自动化成为可能。现场总线作为现场控制系统的基础,代表着今后测量与控制领域技术发展的方向,它将产生的影响和将发挥的作用是难以估计的。目前,国际上有关现场总线的争议已经演变为一场无形的市场争夺战。现场总线技术的研究、开发和应用是一个十分复杂的课题。

综上所述,工业企业网的产生和发展是需求拉动和技术推动的结果,随着企业对企业网需求的产生,对企业网技术的研究已经成为一个时代的课题,其研究的成功对企业的生存和发展,对国民经济发展都具有重大的意义。

1.2.2 工业企业网的基本概念和特性

工业企业网(Enterprise Network)目前尚无统一定义,一般是指在一个工业企业范围内要实现信号检测、控制以及数据传递、处理与计算的设备、装置或系统连接在一起,以实现企业内的资源共享、信息管理、过程控制、经营决策,并能够访问企业外的信息资源,使得各项事务协调运作,从而实现企业集成管理和控制的一种网络环境。企业网是一个企业的信息基础设施,它涉及局域网、广域网、控制网以及网络互连等技术,是计算机技术、信息技术

和控制技术在企业管理与控制中的有机统一。网络技术与应用的热点和重心向企业网技术的转移是网络技术发展及应用新里程的一个标志。

工业企业网具有如下特性：

(1) 范围确定性 工业企业网是在有关企业范围内为了实现企业的集成管理和控制而建成的一种网络环境，具有特定的地域范围和服务范围，并能实现从现场实时控制到管理决策支持的功能。

(2) 集成性 工业企业网通过对计算机技术、信息与通信技术和控制技术等技术的集成达到了现场信号监测、数据处理、实时控制到信息管理、经营决策等功能上的集成，从而构成了企业信息基础设施的基本骨架。

(3) 安全性 区别于 Internet 和其他广域网，由于企业网是作为相对独立单位的某个企业的内部网络，在企业信息保密和防止外部入侵上要求有高度的安全性，确保企业既能通过企业网获取外部信息和发布内部公开信息，又能相对独立和安全地处理内部事务而不受外部干涉。

(4) 相对开放性 工业企业网是连接企业各部门的桥梁和纽带，它是一个“广域网”，并与 Internet 连通，以实现企业对外联系的职能，也就是说，企业网是作为 Internet 的一个组成部分出现的，它具有开放性，但这种开放性是在高度安全措施保障下的相对开放性。进入 20 世纪 90 年代，以 Internet 为代表的计算机网络技术的迅猛发展及相关技术的完善，打破了传统通信方式的限制，使越来越多的人可以方便地使用它，它对其他领域正产生深远的影响。随着 Internet 规模以指数倍增长，它的潜能也不断得到扩展。

1.2.3 工业企业网的发展历程

工业企业网的发展大体可分为 3 个阶段。

第一阶段，从 20 世纪 70 年代中期开始，那时的企业网是指企业中传统的分时共享中心主机及其各终端所构成的网络，基本上只限于作业处理，其功能和应用是有限的。

第二阶段，随着局域网技术的发展，企业内不仅中小型计算机而且微型计算机也能够被连入网络，共享信息与资源，其功能有了很大的扩展。而且由于工业以太网、集散控制系统以及可编程序控制器(Programmable Logic Controller——PLC)的产生和发展，工业企业内的现场控制设备也被集成到一起，这便是企业网发展的新阶段。

第三阶段，从 20 世纪 90 年代开始，由于 Internet 技术的成熟和迅速推广，出现了 Intranet 的概念，进而在 Intranet 的基础上又出现了 Extranet (外联网)和基础网(Infrastructure Network——Infranet)的概念，而且现场总线技术也越来越为人们所接受，并被普遍用于过程自动化、制造自动化、楼宇自动化等系统之中，于是便分别以 Infranet/Extranet 技术和现场总线技术(或工业以太网)为信息网络和控制网络的依托，形成了当前意义上的企业网概念。

1.2.4 控制网络与信息网络的互连

20 世纪末以来，Internet 的规模按指数倍加以增长，它的潜能不断扩大；除了计算机与工作站接入网络之外，更多不同类型的智能设备接入网络，如楼宇自动控制系统、家庭自动化系统、保安系统等。只要给这些智能设备进行网际协议(Internet Protocol——IP)地址编址，并安装上 Web 服务器，便可以获得测量控制设备的参数，人们也就可以通过 Internet 与智能设备进行交互。

在计算机网络技术的推动下，控制系统向开放性、智能化与网络化方向发展，产生了由

控制对象形成的网络,简称基础网(Infranet),在此之前,基于 Web 的信息网络的 Intranet 成为企业内部信息网的主流,因此也可以把 Intranet 称为企业网或企业内部网络,它是基于 TCP/IP 的计算机网络互连与扩展技术,是将局域网与 Internet 成功结合的典范。Intranet 应用 Internet 的通信标准,具有开放性的互连标准,Intranet 根据企业经营和发展的需要确定相应功能与规模,它是基于传输控制协议/网际协议(Transmission Control Protocol/Internet Protocol——TCP/IP)的开放系统,能方便地与外界连接,尤其是与 Internet 连接,它广泛地使用万维网(World Wide Web——WWW)的工具,使企业员工能方便地浏览企业网上信息,参与企业的经营和管理。例如采用浏览器/服务器(Browser/Server——B/S)结构的 Web 技术,客户子系统由客户机、浏览器和 Windows 网络操作系统组成,服务器采用 Windows NT 操作系统,Web 需要 TCP/IP,超文本传输协议(Hypertext Transfer Protocol——HTTP)支持,使用超文本标记语言(Hypertext Markup Language——HTML),通过公共网关接口(Common Gateway Interface——CGI)技术对数据库进行操作,结果通过 HTML 页面传回客户端,实现企业的 B/S 结构组网。相对而言,控制网络还是一个新技术,其相关技术还正在发展中,研究控制网络和信息网络的发展与动态,对我国企业信息化进程具有特殊的意义。

1. 控制网络与信息网络互连的基础及必要性

Internet 网络技术最初的设计没有考虑接入各种智能嵌入式设备,特别是一些小型化、低成本的控制设备,它们的特性与计算机不同,需要一套全新的网络结构体系来支持网上控制设备的连接和应用。Intranet 作为 Internet 的扩展,能在短时间内被广泛承认和迅速发展,原因在于它有简单易用的通用标准,WWW 和浏览器使用户越过复杂的技术而获得 Intranet 的益处,Infranet 只有在建立通用标准和协议之后,才能真正进入市场。有的厂商已经推出自己的产品,如美国 Echelon 公司的 LonWorks,它可以实现 Intranet 与 Infranet 的互连。Intranet 在技术上依赖于 Internet,而 Infranet 对自身要求较特殊,控制网络相对较小,成本低,网络流通量的需求减小,响应时间快等等;通过建立控制所需的优化、可靠的网络平台,把智能设备接入,实现将家庭、办公室和企业连成一体的分布式控制网络。企业内部控制网络与信息网络既相互独立又相互联系,为企业生产传递信息,并为生产控制、计划决策、销售管理提供全面信息服务,Infranet 与 Intranet 的互连为企业综合自动化(Computer Intergrated Plant Automation——CIPA)提供了条件,它们的互连是网络未来的发展趋势。如何实现 Infranet 与 Intranet 的无缝连接以满足企业的需要是网络技术的热点问题。

控制网络与信息网络互连,就工业企业而言,具有如下重要意义:

- 1) 控制网络与企业高层网络之间互连,建立综合实时的信息库,有利于管理层的决策;
- 2) 现场控制信息和生产实时信息可以及时在企业网内交换,相关人员能方便地了解企业生产情况;
- 3) 建立分布式数据库管理系统,使数据保持一致性、完整性和互操作性;
- 4) 对控制网络进行远程监控、远程诊断、维护等,节省大量的用于交通的投资和人力,特别适用于大型企业;
- 5) 为企业完善的信息资源,在完成内部管理的同时,加强与外部信息的交流,从而带来巨大的经济效益。

2. 信息网络与控制网络互连技术的特点

控制网络不同于一般的信息网络,控制网络主要用于生产、生活设备的自动控制,对生

产过程状态进行检测、监视与控制，一般它具有下述自身的技术特点：

- 1) 要求节点有高度的实时性；
- 2) 容错能力强，具有高可靠性和安全性；
- 3) 控制网络协议实用、简单、可靠；
- 4) 控制网络结构的分散性；
- 5) 现场控制设备的智能化和功能自治性；
- 6) 网络数据传输量小和节点处理能力需要减小；
- 7) 性能价格比高。

3. 控制网络与信息网络互连技术在控制领域的应用

(1) Internet 对传统控制系统的影响 传统的控制系统以单片机、个人计算机(Personal Computer——PC、PLC)为主，总线一般采用 S-100、PC 的 STD、多总线(Multibus)。一般采用集中控制方式，这些控制系统需要实时操作系统和一定的图形化界面，其基本调节器是微型计算机，难以实现完全分散控制。随着计算机局域网(Local Area Network——LAN)技术的成熟与完善，出现了基于 LAN 的集散控制系统(DCS)，但 DCS 还是封闭式的专用通信、集中与分散结合的控制体系；DCS 大部分为模拟数字混合的系统，并未形成从控制设备到计算机的完整网络，且 LAN 主要用于中、低速的分布式控制系统网络。在工业企业中作为主流的 DCS 和 PLC 属非开放系统，且其技术的复杂性，大大制约了我国现阶段控制系统的发展。

(2) Infranet 和 Intranet 与现场总线的结合 总线是计算机、控制系统及网络系统的基础，20 世纪 90 年代以来，控制系统的现场总线(Field Bus)迅猛发展。现场总线以全数字化、开放的、独立的双向多变量通信逐步取代 4~20mA 传统现场仪表。它具有开放性、可互操作性(Interoperability)、分散性、网络化、智能化等特点，顺应了控制网络的发展需求。现场总线将工业过程现场的智能仪表和装置作为节点，通过网络将节点连同控制室内的仪表和控制装置连成控制系统，这种基于现场总线的现场总线控制系统(Fieldbus Control System——FCS)即第五代控制系统。它打破了 DCS 专用通信的局限性，采用公开、标准的通信协议，控制功能完全分散到现场的智能仪表及装置上，即使计算机出现故障，控制系统也不会瘫痪；把 DCS 集中与分散结合的集散结构改变成全分散式结构，基于现场总线的 FCS 和 DCS 均是 Infranet，因此现场总线出现形成的底层网络也称为 Infranet。Infranet 和 Intranet 与现场总线的结合，使传统的、封闭的、僵化的集中式控制系统正在被开放的、灵活的、网络化控制系统替代，用 FCS 替代模拟数字混合的 DCS 已成为控制系统的发展方向，从而在此基础上把自动化仪表及控制系统带入“综合自动化”的更高层次。

目前控制系统的设计思想明显受到计算机网络技术的影响，用网络化、分散化、开放性等概念改造传统控制的集中模式。网络上的节点不仅有计算机、工作站，还有智能测控仪表。从信息网络与控制网络的体系结构发展来看，两者是相似的，一般只是控制网络的结构较为简单。以 Internet 为基础的信息网络在技术上优先于控制网络，其技术上成熟的新思想、新理论已融入控制网络。当传统 DCS 逐渐走向基于现场总线的 Infranet 之后，建立 Internet 的新型网络结构便成为可能，通过网络互连的控制系统功能将远远大于系统中独立个体功能的总和，我们把这种强大的网络结构称为“网络的网络”。

1.2.5 工业企业网的体系结构

根据计算机集成制造开放系统结构(CIM—OSA)模型和普度(PUDU)模型(美国普度大学

提出),企业的控制管理层次大致可分为5层,如图1-4所示。其中,底层的单元层和设备层是企业信息流和物流的起点,以控制为主,能否实现柔性、高效、低成本的控制管理,直接关系到产品的质量、成本和市场前景。而传统的DCS、PLC控制系统由于其控制的相对集中,导致了可靠性的下降和成本的上升,且无法实现真正的互操作性。同时,由于其自身系统的相对封闭,与上层管理信息系统的信息交换也存在一定困难,因此步入20世纪90年代以来,作为一种趋势,现场总线系统正逐渐成为该控制领域的主流。

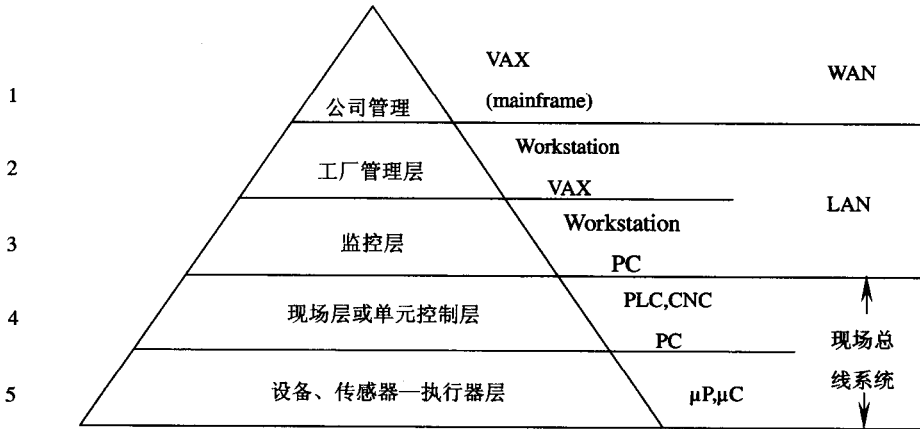


图 1-4 CIM 模型

注: WAN——广域网(Wide Area Network)

VAX——虚拟地址扩展(Virtual Address eXtend)

1. 工业企业网的功能体系结构

工业企业网技术是一种综合的集成技术,它涉及到计算机技术、通信技术、多媒体技术、管理技术、控制技术和现场总线技术等。应用需求的提高和相关技术的发展,要求企业网能同时处理数据、声音、图像、视频等多媒体信息,满足企业从管理决策到现场控制自上而下的应用需求,实现对多种媒体、多种功能的集成。

在功能上,工业企业网的结构可分为信息网络和控制网络上下两层,其体系结构如图1-5所示。

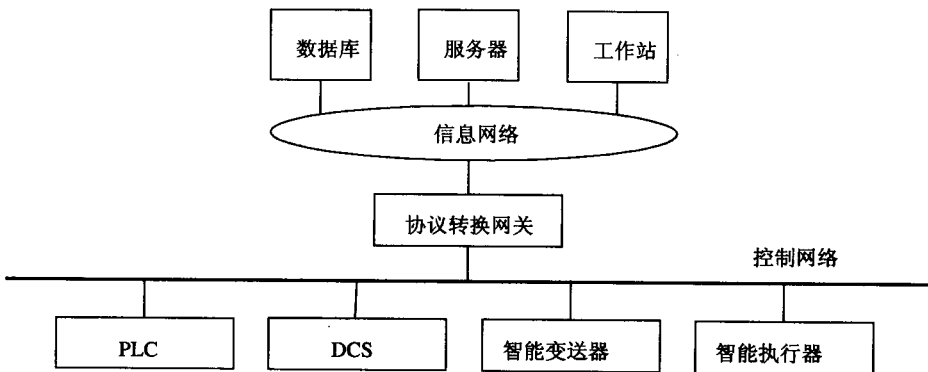


图 1-5 工业企业网的功能体系结构

1) 信息网络位于工业企业网的上层,是企业数据共享和传输的载体,它需满足如下要求:

- 是高速通信网;
- 能够实现多媒体的传输;
- 与 Internet 互连;
- 是一个开放系统;
- 满足数据安全性要求;
- 技术上易于扩展和升级(更新)。

2) 控制网络位于工业企业网的下层,与信息网络紧密地集成在一起,服从信息网络的操作系统,同时又具有独立性和完整性,它的实现既可沿用工业以太网,也可采用自动化领域的新技术——现场总线技术,又可以采用两者的结合。值得指出的是,在这里讲的所谓控制网络指的是宏观整体控制网络,有关这部分内容在本书后面还要加以介绍。

2. 信息网络与控制网络互连的意义及逻辑结构

传统的企业模型具有分层递阶结构,然而随着信息网络技术的不断发展,企业为适应日益激烈的市场竞争的需要,已提出分布化、扁平化和智能化的要求。即:一是要求企业减少中间层次,使得上层管理与底层控制的信息直接联系;二是扩大企业集团内不同企业之间的信息联系;三是根据市场变化,动态调整决策、管理和制造的功能分配。将信息网络和控制网络互连主要出于以下几点考虑:

- 将测控网络连入更大的网络系统中,如 Intranet、Extranet 和 Internet;
- 提高生产效率和控制质量,减少停机维护和维修的时间;
- 实现集中管理和高层监控;
- 实现异地诊断和维护;
- 利用更为及时的信息提高控制管理决策水平。

信息网络与控制网络互连的逻辑结构如图 1-6 所示。连接层为提供在控制网络和信息网络应用程序之间进行一致性连接起着关键的作用,它负责将控制网络的信息表达成应用程序可以理解的格式,并将用户应用程序向下传递的监控和配置信息变为控制设备可以理解的格式。在解决实际互连问题时,为了最大限度地利用现有的工具和标准,用户希望采用开放策略解决互连问题,各种标准化工作的展开和进展对控制网络的发展是极为有利的。

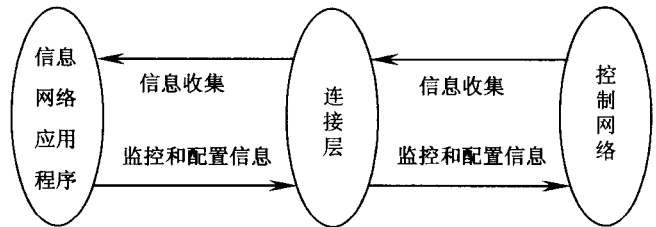


图 1-6 信息网络与控制网络互连的逻辑结构

1.3 工业控制网络

前面已经介绍到企业网络一般包括处理企业管理与决策信息的信息网络以及处理现场实时测控信息的工业控制网络(在这里简称为控制网络)两部分。控制网络作为工业企业网络的重要组成部分,对于企业生产加工制造具有极为重要的作用,也是工业企业发展的要求与趋势。

控制网络一般主要用来处理实时现场信息，具有协议简单、容错性强、安全可靠、成本低廉的特点，是网络控制系统进行实时控制信息处理的数据流通道。因此它对于控制系统实现网络化控制以及工业企业实现完全分布式网络化控制与管理具有重要的作用。控制网络一般指以控制事物对象为特征的计算机网络系统。它一般处于工业企业网络的中下层，是直接面向生产控制的计算机网络。

在本书中所讨论的控制网络包括了现场总线以及含有工业以太网(例如 Ethernet/IP)的多层网络结构。从工业自动化与信息化层次模型来说，控制网络可以分为面向设备(过程)的现场总线控制网络或设备层网络，如 DeviceNet、Profibus 等，以及面向自动化的主干控制网络。从广义的角度来讲，在控制网络中，现场总线处于它的最底层，也有学者将现场总线称之为底层控制网络。当然也可以将现场总线作为主干控制网络的一个接入节点对待，因此一般将设备层网络(现场总线)与自动化层网络合二为一构成控制网络。

在工业控制网络结构中，多层网络结构是其中比较典型的一类网络结构形式。德国西门子公司工业现场总线 Profibus 网络结构以及罗克韦尔自动化公司所提出的工业网络体系就是这类在国内外具有十分重要影响力的工业控制网络结构。

德国西门子的 Profibus 是 Process Field Bus 的简称，它是符合德国国家标准和欧洲标准 EN50170 的现场总线。它具有两层网络结构(如果考虑到 Profinet 也可认为具有 3 层网络结构)，Profibus-FMS (Field bus Message Specification, 现场总线报文规范)主要用于车间级通信，Profibus-DP (Distributed peripheral, 分布式外围设备)与 Profibus-PA (Process Automation, 过程自动化)是专为过程控制系统和设备级通信而设计，并且通过主站(Host)可以实现与信息网的通信，从而构成工厂控制网络全面解决方案。Profibus 产品的市场份额占欧洲首位，大约为 40%。目前世界上许多自动化设备制造商(如西门子公司)都为它们生产的设备提供 Profibus 接口。Profibus 已经广泛应用于加工制造、过程和楼宇自动化。Profibus 是一种不依赖于制造商的开放式现场总线标准。采用 Profibus 标准系统，不同制造商所生产的设备不须对其接口进行特别调整就可通信，Profibus 可用于高速并对时间苛求的数据传输，也可用于大范围的复杂通信场合，如图 1-7 所示。

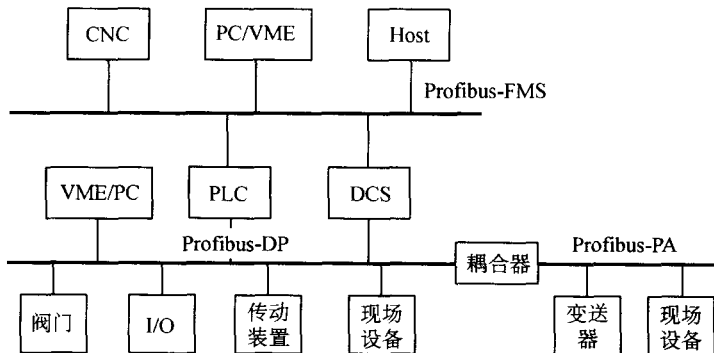


图 1-7 西门子的 Profibus 网络结构

Profibus 根据应用的特点分为 Profibus-DP、Profibus-FMS、Profibus-PA 三个兼容版本。其中，Profibus-DP (HZ)是一种经过优化的高速通信连接、专为自动控制系统和设备级分散 I/O 之间的通信设计的，可用于分布式控制系统的高速数据传输，其传输速率可达 12Mbit/s，一