

普通高等教育电气工程与自动化类“十三五”规划教材

现场总线 及工业控制网络

汤旻安 邱建东 汤自安 令晓明 编著

Fieldbus and Industrial
Control Network



普通高等教育电气工程与自动化类“十三五”规划教材

现场总线及工业控制网络

汤旻安 邱建东 汤自安 令晓明 编著

常州大学图书馆
藏书章



机械工业出版社

本书以现场总线及控制网络技术为基线, 阐述现场总线、计算机网络与控制网络的基本知识, 突出控制网络技术的特点与优势。在追踪国内外该领域理论与技术发展的基础上, 阐述几种典型现场总线的相关理论知识, 深入描述其各自的技术特点、通信控制芯片、接口电路以及控制网络的设计与应用等方面的内容; 重点介绍了串行通信、LonWorks、FF、PROFIBUS、CAN、AS-i 以及工业以太网控制网络与现场总线系统技术, 并介绍了控制网络系统的集成技术以及工业数据交换中的 OPC 技术。

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、研究生的教学需要, 也可作为控制网络系统设计及工程技术人员的培训教材及参考资料。

本书配有电子课件, 欢迎选用本书作教材的教师登录 www.cmpedu.com 注册下载, 或发 jinacmp@vip.163.com 索取。

图书在版编目 (CIP) 数据

现场总线及工业控制网络/汤旻安等编著. —北京: 机械工业出版社, 2018. 6

普通高等教育电气工程与自动化类“十三五”规划教材
ISBN 978-7-111-59259-4

I. ①现… II. ①汤… III. ①总线 - 高等学校 - 教材
②工业控制系统 - 高等学校 - 教材 IV. ①TP336②TP273

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 038418 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: 吉玲 责任编辑: 吉玲 周金峰 王荣 刘丽敏

责任校对: 张薇 封面设计: 鞠杨

责任印制: 常天培

涿州市京南印刷厂印刷

2018 年 5 月第 1 版第 1 次印刷

184mm × 260mm · 16 印张 · 385 千字

标准书号: ISBN 978-7-111-59259-4

定价: 39.80 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

电话服务

服务咨询热线: 010-88379833

读者购书热线: 010-88379649

网络服务

机工官网: www.cmpbook.com

机工官博: weibo.com/cmp1952

教育服务网: www.cmpedu.com

金书网: www.golden-book.com

封面防伪标均为盗版

前言 PREFACE

现场总线及控制网络技术是计算机控制系统和现代控制工程应用系统的一个重要硬件组成部分和软件技术实现的基础平台。经过近 30 年的迅速发展,在国际标准化组织和诸多世界知名公司的共同推动下,现场总线及控制网络技术已经形成了明晰的理论技术体系和相对成熟的应用与设计方法。随着计算机技术和网络技术的发展,现场总线及控制网络技术在实践中被越来越广泛地应用,而且它的性能也在逐步地充实和提高,在高等级控制工程应用中表现出了卓越的性能和无与伦比的优越性。

本书是在编者为本科生开设的“工业控制网络技术”课程和研究生“控制网络与现场总线”“控制网络与现场总线工程应用”课程讲义的基础上编写而成的。全书分为 10 章,第 1 章概述现场总线和控制网络的基本情况,第 2 章阐述数据通信与控制网络的基础知识,第 3 章讨论通用串行端口的数据通信,第 4 章讲述 LonWorks 控制网络,第 5 章具体讲述 FF 技术,第 6 章讲述 PROFIBUS 总线技术,第 7 章介绍 CAN 总线技术,第 8 章介绍 AS-i 总线技术,第 9 章讲述工业以太网技术,第 10 章讲述控制网络集成与 OPC 技术。其中,第 2、4、6、10 章由汤旻安编写;第 3、9 章由邱建东编写;第 5、7 章由汤自安编写;第 1、8 章由令晓明编写。第 1~3 章是基础知识部分;第 4~9 章针对目前几种流行的现场总线技术做了详细的介绍,在部分章节的最后增加了实验内容,目的是使读者能够更好地掌握相关内容,加强实际应用能力和实践能力。同时,为了便于教学工作的展开,每章的最后还附加了习题部分,这些内容可供不同读者选择使用。

兰州交通大学陈小强教授欣然接受了审阅本书稿的邀请,阅后又提出了宝贵的修改意见,作者在此表达诚挚的感谢。作者还要感谢本书的参考文献中所列的专家和学者,他们的专著和工程实践资料为现场总线及控制网络技术的发展做出了巨大的贡献,也为本书的编写打下了基础。

本书在编写过程中,得到了兰州交通大学米根锁教授、董海鹰教授及诸多老师的大力支持,王茜茜、刘赞科、李滢、谷宝慧、郑悦校对了全部的书稿,机械工业出版社的吉玲编辑对本书的早日出版做了大量的工作,对他们的支持和帮助,作者深表谢意。

作者试图全力写好此书,但由于学识水平有限,书中难免存在不足甚至错误,恳请有关专家和读者指正和赐教,以便将来有机会再版时改进、修正和提高。反馈信息可通过电子邮件送达,邮箱为 tangminan@yahoo.com。同时,通过该邮箱,读者可以索取本书的多媒体电子课件。

编者

目 录 CONTENTS

前 言

| | |
|---------------------|----|
| 第1章 概述 | 1 |
| 1.1 现场总线与控制网络简介 | 1 |
| 1.1.1 现场总线 | 1 |
| 1.1.2 控制网络 | 4 |
| 1.2 控制网络在企业网络系统中的作用 | 10 |
| 1.2.1 企业网络系统 | 10 |
| 1.2.2 控制网络的地位与作用 | 12 |
| 1.3 控制网络的应用现状与标准化 | 12 |
| 1.3.1 应用现状 | 12 |
| 1.3.2 控制网络的标准化 | 13 |
| 第1章习题 | 14 |
| 第2章 数据通信与控制网络基础 | 15 |
| 2.1 数据通信 | 15 |
| 2.1.1 通信系统模型 | 15 |
| 2.1.2 通信系统的性能指标 | 16 |
| 2.1.3 数据编码 | 17 |
| 2.1.4 通信线路的工作方式 | 20 |
| 2.1.5 差错控制 | 21 |
| 2.2 通信参考模型 | 24 |
| 2.2.1 OSI 参考模型 | 24 |
| 2.2.2 TCP/IP 参考模型 | 26 |
| 2.2.3 现场总线的通信模型 | 28 |
| 2.3 传输介质与介质访问控制方式 | 29 |
| 2.3.1 传输介质 | 29 |
| 2.3.2 介质的访问控制方式 | 32 |
| 2.4 控制网络的特性 | 34 |
| 2.4.1 控制网络的节点 | 35 |
| 2.4.2 控制网络的任务与工作环境 | 35 |
| 2.4.3 控制网络的实时性要求 | 36 |
| 第2章习题 | 37 |
| 第3章 通用串行端口的数据通信 | 38 |
| 3.1 串行通信技术基础 | 38 |

| | | |
|--------------------------|---------------------------|-----------|
| 3.1.1 | 串行通信的基本概念 | 38 |
| 3.1.2 | 串行异步通信数据格式 | 40 |
| 3.2 | EIA-232-D 串行通信接口技术 | 40 |
| 3.2.1 | EIA-232-D 接口 | 40 |
| 3.2.2 | EIA-232-D 通信接口的互联 | 42 |
| 3.2.3 | EIA-232-D 驱动器/接收器 | 42 |
| 3.2.4 | EIA-232-D 串行通信在温度采集系统中的应用 | 43 |
| 3.3 | EIA-485 串行通信接口技术 | 49 |
| 3.3.1 | EIA-485 接口 | 49 |
| 3.3.2 | EIA-485 收发器 | 50 |
| 3.3.3 | EIA-485 接口的典型应用 | 51 |
| 3.3.4 | EIA-485 网络互联 | 52 |
| | 第3章习题 | 54 |
| 第4章 LonWorks 控制网络 | | 55 |
| 4.1 | LonWorks 技术特点 | 55 |
| 4.2 | LonTalk 协议 | 56 |
| 4.2.1 | LonTalk 协议简介 | 56 |
| 4.2.2 | LonTalk 的各层协议与功能 | 58 |
| 4.2.3 | LonTalk 协议其他方面的问题 | 62 |
| 4.3 | LonWorks 通信控制器——神经元芯片 | 62 |
| 4.3.1 | 概述 | 62 |
| 4.3.2 | 神经元芯片的结构 | 63 |
| 4.3.3 | 神经元芯片应用 I/O | 68 |
| 4.4 | 通信收发器 | 70 |
| 4.4.1 | 双绞线收发器 | 70 |
| 4.4.2 | 电力线收发器 | 71 |
| 4.4.3 | 智能收发器 | 72 |
| 4.4.4 | 其他收发器 | 74 |
| 4.5 | 路由器和网络接口 | 75 |
| 4.5.1 | 路由器 | 75 |
| 4.5.2 | 网络接口 | 78 |
| 4.6 | LNS 网络技术 | 82 |
| 4.6.1 | 简介 | 82 |
| 4.6.2 | LNS 编程模式与 LNS 构架 | 82 |
| 4.6.3 | 网络服务与 LCA 数据库 | 83 |
| 4.7 | LonWorks 开发工具 | 85 |
| 4.7.1 | 节点开发工具 | 85 |
| 4.7.2 | 网络工具 | 86 |
| 4.7.3 | LonMaker 和 i. LON 100 | 88 |

| | |
|---|------------|
| 4.8 LonWorks 地铁车辆监控应用实例 | 95 |
| 4.8.1 系统概述与总体框架 | 95 |
| 4.8.2 处理器 STC 89C52 与外围电路设计 | 97 |
| 4.8.3 神经元芯片和收发器的选择 | 98 |
| 第4章习题 | 99 |
| 第5章 FF 技术 | 100 |
| 5.1 FF 主要技术概述 | 100 |
| 5.1.1 通信模型 | 102 |
| 5.1.2 网络管理与系统管理 | 116 |
| 5.1.3 设备信息文件 | 124 |
| 5.2 FF 应用 | 127 |
| 5.2.1 FF 网络设计 | 127 |
| 5.2.2 FF 在市区热网测量系统中的应用 | 132 |
| 5.2.3 FF 在粉煤灰输送中的应用 | 138 |
| 第5章习题 | 140 |
| 第6章 PROFIBUS 总线技术 | 141 |
| 6.1 PROFIBUS 控制系统组成 | 141 |
| 6.2 PROFIBUS 基本特性 | 142 |
| 6.3 PROFIBUS-FMS | 145 |
| 6.4 PROFIBUS-DP | 147 |
| 6.5 PROFIBUS-PA | 150 |
| 6.6 PROFIBUS 的应用 | 153 |
| 6.6.1 S7-200 PLC 与 S7-300 PLC 之间总线通信的实现 | 153 |
| 6.6.2 PROFIBUS 在制冷站监控系统中的应用 | 158 |
| 第6章习题 | 160 |
| 第7章 CAN 总线技术 | 161 |
| 7.1 CAN 总线简介 | 161 |
| 7.1.1 CAN 总线的发展历程 | 161 |
| 7.1.2 CAN 总线的特点 | 163 |
| 7.1.3 CAN 总线的位数值表示与通信距离 | 163 |
| 7.2 CAN 技术规范 | 164 |
| 7.2.1 CAN 技术基础 | 164 |
| 7.2.2 报文传输 | 167 |
| 7.2.3 报文滤波与报文校验 | 173 |
| 7.2.4 编码与错误处理 | 174 |
| 7.2.5 故障界定与振荡器容差 | 174 |
| 7.2.6 位定时要求 | 176 |
| 7.3 CAN 器件及节点设计 | 177 |
| 7.3.1 独立 CAN 控制器 | 177 |

| | | |
|---------------|-----------------------------|------------|
| 7.3.2 | CAN 总线收发器——PCA82C250 | 186 |
| 7.3.3 | I/O 器件——P82C150 及节点开发 | 188 |
| 7.4 | CAN 总线控制系统的应用 | 190 |
| 7.4.1 | 汽车内部 CAN 总线解决方案 | 190 |
| 7.4.2 | CAN 总线立体车库控制系统 | 191 |
| 7.4.3 | CAN 通信的接口设计与报文设计 | 192 |
| | 第 7 章习题 | 195 |
| 第 8 章 | AS-i 总线技术 | 196 |
| 8.1 | AS-i 总线概述 | 196 |
| 8.1.1 | AS-i 总线技术特点 | 196 |
| 8.1.2 | AS-i 总线体系结构 | 197 |
| 8.1.3 | AS-i 总线传输系统 | 199 |
| 8.2 | AS-i 总线的从机与主机 | 200 |
| 8.2.1 | AS-i 从机 | 200 |
| 8.2.2 | AS-i 主机 | 203 |
| 8.3 | AS-i 技术应用 | 204 |
| 8.3.1 | AS-i 总线系统工业模块和元器件 | 204 |
| 8.3.2 | AS-i 总线在制冷站辅助控制系统中的应用 | 210 |
| | 第 8 章习题 | 212 |
| 第 9 章 | 工业以太网技术 | 213 |
| 9.1 | 工业以太网技术概述 | 213 |
| 9.2 | 工业以太网协议 | 215 |
| 9.3 | 工业以太网应用 | 218 |
| 9.3.1 | PROFINET CBA 技术 | 218 |
| 9.3.2 | 基于工业以太网的抄表系统 | 221 |
| | 第 9 章习题 | 226 |
| 第 10 章 | 控制网络集成与 OPC 技术 | 227 |
| 10.1 | 控制网络集成 | 227 |
| 10.1.1 | FCS 和 DCS 的集成方法 | 227 |
| 10.1.2 | FCS 和 Intranet 的集成方法 | 230 |
| 10.2 | OPC 技术 | 231 |
| 10.2.1 | OPC 技术基础 | 231 |
| 10.2.2 | 基于 OPC 技术的系统级集成方法 | 240 |
| 10.3 | OPC 应用示例 | 240 |
| | 第 10 章习题 | 246 |
| | 参考文献 | 247 |

第1章

概 述

1.1 现场总线与控制网络简介

1.1.1 现场总线

1. 现场总线的定义

在工业数据通信领域，总线是指由导线组成的传输线束，连接多个传感器和执行器，实现各部件之间传送信息的公共通信干线。导线介质可以有有线介质，也可以是无无线介质。总线上除了传输测量控制的数值外，还可传输设备状态、参数调整和故障诊断等信息。由于串行通信具有通信方便、经济和安装简便的优点，因此，节点众多的工业数据通信系统一般都采用串行通信方式。

现场总线是当今自动化技术发展的热点之一，被称为自动化领域的计算机局域网。现场总线的出现，标志着自动化技术跨入了一个新的时代，对该领域的技术发展产生了重要的影响。过去对现场总线有很多种不同的定义，国际电工技术委员会（International Electrotechnical Commission, IEC）在 IEC 61158 中给现场总线的定义是：安装在制造或过程区域的现场装置与控制室内的自动控制装置之间的数字式、串行、多点通信的数据总线。可以认为它是关于现场总线的标准定义。

在该定义中，首先说明了它的主要使用场合，即制造业自动化、批量流程控制、过程控制等领域；其次说明了系统中的主要角色是现场的自动装置和控制室内的智能化自动控制装置；第三点说明它是一种数据总线技术，即一种通信协议，而且该通信是数字式、串行、多节点的。这三点结合起来描述了现场总线技术中最实质性的内容。

2. 现场总线的分类

一般在工业生产过程中，除了计算机及其外围设备，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。这些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，称为工业数据通信。工业数据通信系统的规模从简单到复杂，从两三个数据节点到成千上万台设备，各类应用俱全。

在工业数据通信领域中，人们通常按数据通信帧的长短，把数据传输总线分为传感器总线、设备总线和现场总线。传感器总线属于数据位级的总线，其通信帧的长短只有几个或十几个数据位，如后续章节要介绍的 AS-i（Actuator Sensor Interface）总线。设备总线属于字节级的总线，其通信帧的长度一般为几个到几十个字节，如后续章节要介绍的 CAN（Controller Area Network）总线。而现场总线则属于数据块级的总线，它所传输的数据块长度可

达几百个字节，当要传输的数据块更长时，可支持打包分批传送。但现场总线中传输的与控制直接相关的数据帧的长度一般也只有几个到几十个字节，例如后续章节要介绍的 Foundation Fieldbus、PROFIBUS 等都属于典型的现场总线。通常，习惯上把以上几种数据长度不一的总线统称为现场总线。

3. 现场总线的核心及基础

现场总线的核心是总线协议。虽然目前现场总线协议并不统一，但是对于各种总线，协议的基本原理都是一样的，都是为了实现串行双向数字化通信。每一种总线协议，只要其协议已经确定，则包括通信速度、节点容量、各系统相关的网关、网桥、体系结构、现场智能仪表及网络供电方式等在内的相关的关键技术和软硬件设备也都会确定。由于现场总线是众多仪表之间的接口，在实际应用过程中也希望现场总线满足可互操作性的要求。因此，对于一个开放的现场总线而言，一个标准化的总线协议尤为重要，可以说标准化的总线协议是现场总线的核心。

现场总线的基础是现场总线仪表，或称为智能现场设备。现场总线技术的发展带来了总线仪表在通信及检测控制功能上的革新，微电子技术的发展也为仪表的智能发展带来了技术支撑。智能仪表采用超大规模集成电路设计，利用嵌入式软件协调内部操作，在完成输入信号的非线性补偿、温度补偿、故障诊断的基础上，还可完成对工业过程的控制，使控制系统的功能进一步分散，同时还可以保障数据处理的质量，提高系统的抗干扰性能。

现场智能仪表使传感器由单一功能、单一检测向多功能和多变量检测发展，由被动信号转换向主动控制转变和主动进行信息处理的方向发展，且数据处理具有较高的线性度和较低的漂移，使传感器由孤立的元件向系统化、网络化方向发展，降低了系统的复杂性，简化了系统结构。正是由于现场仪表智能化的发展和改善，它已经成为现场总线控制系统有力的硬件支撑，是现场总线控制系统的基础。

目前，现场仪表包括多类工业产品，如过程量类的压力、温度、流量、振动、转速仪表、各种转化器或变送器、现场的可编程序控制器（Programmable Logic Controller, PLC）和远程的单回路或多回路调节器等；数字量类的自动识别器、ON-OFF 开关、光电传感器，还包括控制阀和执行器等。主要的应用领域包括交通领域、过程控制领域、制造领域和物业领域等。目前，已开发的多功能智能化现场仪表产品中包含有通信功能、多变量检测功能、提供诊断信息的功能、复合控制功能和信息的差错检测等一些常用功能。

现场总线智能仪表是未来工业过程控制系统的主流仪表，它与现场总线组成了现场总线控制系统（FCS）的两个重要部分，将会给传统控制系统结构和方法带来革命性的变化。

4. 现场总线的发展现状

国际电工技术委员会/国际标准化协会（IEC/ISA）于 1984 年开始着手现场总线标准化工作，但统一的标准至今仍未完成。世界上许多国家都提出了自己的现场总线技术，但是由于存在太多标准和协议的差异，给工程实践和应用推广带来了诸多不便，影响了系统的开放性和互操作性，因而 IEC 在最近几年里开始标准统一工作，减少现场总线协议的数量，以达到单一标准协议的目标。各种协议标准合并的目的是为了达成国际上统一的总线标准，以实现各家产品的互操作性。

IEC TC65（负责工业测量和控制的第 65 标准化技术委员会）以 1999 年年底通过的 8 种类型的现场总线作为 IEC 61158 最早的国际标准。最新的 IEC 61158 标准（第四版）于 2007

年7月发布。

IEC 61158 第四版由多个部分组成, 主要包括以下内容:

IEC 61158-1 总论与导则;

IEC 61158-2 物理层服务定义域协议规范;

IEC 61158-300 数据链路层服务定义;

IEC 61158-400 数据链路层协议规范;

IEC 61158-500 应用层服务定义;

IEC 61158-600 应用层协议规范。

IEC 61158 第四版标准包括的现场总线类型如下:

Type 1 IEC 61158 (FF 的 H1) 技术报告;

Type 2 CIP 现场总线;

Type 3 PROFIBUS 现场总线;

Type 4 P-Net 现场总线;

Type 5 FF HSE 现场总线;

Type 6 SwiftNet 现场总线 (被撤销);

Type 7 WorldFIP 现场总线;

Type 8 INTERBUS 现场总线;

Type 9 FF H1 以太网;

Type 10 PROFINET 实时以太网;

Type 11 TCnet 实时以太网;

Type 12 EtherCAT 实时以太网;

Type 13 Ethernet Powerlink 实时以太网;

Type 14 EPA 实时以太网;

Type 15 Modbus-RTPS 实时以太网;

Type 16 SERCOS I、II 现场总线;

Type 17 VNET/IP 实时以太网;

Type 18 CC-Link 现场总线;

Type 19 SERCOS III 现场总线;

Type 20 HART 现场总线。

用于工业测量与控制系统的 EPA (Ethernet for Plant Automation), 其系统结构与通信规范是由浙江大学中控技术股份有限公司、中国科学院沈阳自动化研究所、重庆邮电大学、清华大学、大连理工大学等单位联合制定的用于工厂自动化的实时以太网通信标准。EPA 标准在 2005 年 2 月经国际电工委员会 IEC/TC65/SC65C 投票通过, 已作为公共可用规范 (Public Available Specification, PAS) IEC/PAS 62409 标准化文件正式发布, 并作为公共行规 (Common Profile Family 14, CPF14) 列入正在制定的实时以太网应用行规国际标准 IEC 61748-2, 2005 年 12 月正式进入 IEC 61158 第四版标准, 成为 IEC 61158-314/414/514/614 规范。

每种总线都有其产生的背景和应用领域。总线是为了满足自动化发展的需求而产生的, 由于不同领域的自动化需求各有其特点, 因此在某个领域中产生的总线技术一般对这一领域

的满足度高一些,应用多一点,适应性好一些。

工业以太网的引入成为新的热点。工业以太网正在工业自动化和过程控制市场上迅速增长,几乎所有远程 I/O 接口技术的供应商均提供一个支持 TCP/IP 的以太网接口,如西门子(Siemens)、罗克韦尔(Rockwell)、通用电气(GE)、发那科(FANUC)等,他们销售各自的控制产品及系统解决方案,一般都提供远程 I/O 与基于 PC 的控制系统相连的以太网接口。

1.1.2 控制网络

1. 控制系统的发展历程与控制网络的兴起

随着科学技术的迅猛发展,控制系统在 19、20 世纪里发生了巨大的变革。150 多年前出现的基于气动信号标准的气动控制系统(Pneumatic Control System, PCS)标志着控制理论及控制系统的初步形成。纵观控制系统的发展过程,大致可以分为如下几个阶段。

(1) 基地式和单元组合式的气动、液动仪表控制阶段 20 世纪 50 年代以前,控制系统中主要采用以气动和液动为主的仪表作为控制装置,组成基地式和单元组合式两种结构。基地式的特点是仪表的所有部件之间以不可分离的机械结构相连接,装在一个箱壳内,利用一台仪表,如温度控制器、压力控制器、流量控制器、液位控制器等就能解决一个简单自动化系统的测量、记录、控制等全部问题。单元组合式控制器包括变送、调节、运算、显示、执行等单元。如图 1-1 所示为基地式气动仪表与仪表操作控制中心系统。

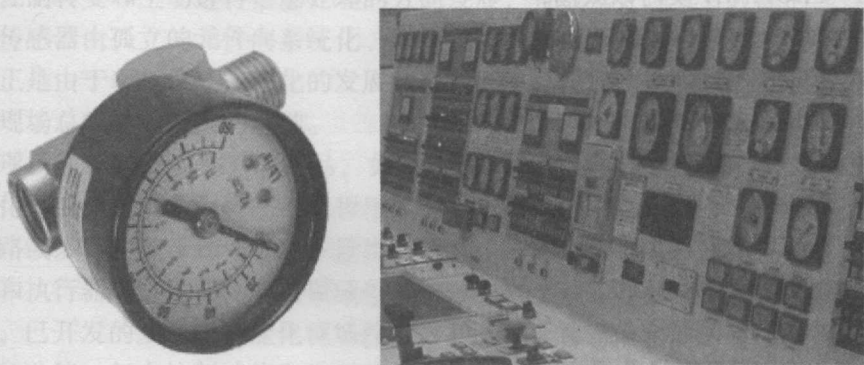


图 1-1 基地式气动仪表与仪表操作控制中心系统

(2) 集中式电动模拟仪表阶段 由于基地式和单元组合式的气动、液动仪表仅具备简单的测控功能,信号只能在本仪表内起作用,不具备仪表间数据传输功能,因此,随着生产规模的扩大,出现了电动系列的单元组合式仪表。这种仪表采用统一的模拟信号,如 4~20mA 的直流电流信号、1~5V 的直流电压信号,将生产现场各处的数据送往集中控制室。操作人员不用通过生产现场巡视,直接坐在控制室内就可以实现对生产过程的操作和控制。

(3) 以 PLC 为核心的逻辑控制和顺序控制阶段 20 世纪 60 年代出现了可编程序控制器(PLC), PLC 一出现便得到了快速发展,给工业自动化领域带来了巨大变革。由于其具有使用方便、编程简单、价位较低、可靠性高、适应性和抗干扰能力强等优点,因此,无论是简单的顺序控制系统,还是复杂的过程控制和运动控制系统,PLC 扮演的角色都无可替代。

以 PLC 为核心的逻辑控制和顺序控制方式主要用于以开关量为主且控制环境恶劣的场合。

(4) 以计算机为控制核心的计算机控制系统阶段 计算机控制系统 (Computer Control System, CCS) 是应用计算机参与控制, 借助一些辅助部件与被控对象相联系, 以获得一定控制目的而构成的系统。这里的计算机通常指数字计算机, 可以是各种规模, 如从微型到大型的通用或专用计算机。辅助部件主要指输入输出接口、检测装置和执行装置等。与被控对象及部件间的联系, 可以是有线方式或无线方式, 如通过电缆的模拟信号或数字信号进行联系, 或用红外线、微波、无线电波、光波等进行联系。在以计算机为控制核心的计算机控制系统中, 主要包括以下几个典型的应用系统。

1) 数据采集系统 (Data Acquisition System, DAS)。在这种应用中, 计算机只承担数据的采集与处理工作, 而不直接参与控制。该系统对生产过程各种工艺变量进行巡回检测、处理、记录及发出变量的超限报警, 同时对这些变量进行累计分析和实时分析, 从而得出各种趋势分析数据, 为操作人员提供参考。

2) 直接数字控制 (Direct Digital Control, DDC) 系统。DDC 系统是用一台计算机对被控参数进行检测, 再根据设定值和控制算法进行运算, 然后输出到各执行机构对生产进行控制。直接数字控制系统是利用计算机的分时处理功能直接对多个控制回路实现多种形式控制的多功能数字控制系统。在这类系统中, 计算机的输出直接作用于控制对象, 故称为直接数字控制。计算机根据控制规律进行运算, 然后将结果经过过程输出通道作用于被控对象, 从而使被控变量符合所要求的性能指标。数字系统与模拟系统不同之处在于, 在模拟系统中, 信号的传送不需要数字化, 而数字系统必须先进行模-数转换, 输出控制信号也必须进行数-模转换, 然后才能驱动执行机构。因为计算机有较强的计算能力, 所以控制算法的改变很方便。直接数字控制系统具有在线实时控制、分时方式控制、多功能性这三个特点。由于计算机直接承担控制任务, 所以要求其实时性好、可靠性高、适应性强。

3) 监督计算机控制 (Supervisory Computer Control, SCC) 系统。SCC 系统是指利用计算机对工业生产过程进行监督管理和控制的数字控制系统。计算机监督控制系统是在操作指导系统的基础上发展起来的。操作指导系统是一种开环控制结构, 系统中计算机的作用是定时采集生产过程参数, 按照工艺要求或指定的控制算法求出输入输出关系和控制量, 并通过打印、显示和报警提供现场信息, 以便管理人员对生产过程进行分析或以手动方式相应地调节控制量 (给定值) 去控制生产过程。监督控制系统在输入计算方面与操作指导系统基本相同, 不同的是监督控制系统计算机的输出可不经过程管理参与而直接通过过程通道按指定方式对生产过程施加影响。因此, 计算机监督控制系统具有闭环形式的结构, 而且监控计算机具有较复杂的控制功能, 它可以根据生产过程的状态、环境、条件等因素, 按事先规定的控制模型计算出生产过程的最优给定值, 并据此对模拟式调节仪表或下一级直接数字控制系统进行自动整定, 也可以进行顺序控制、最优控制以及自适应控制计算, 使生产过程始终处于最优工作状况下。监督控制的内容极为广泛, 包括控制功能、操作指导、管理控制和修正模型等。这个系统根据生产过程的工况和已定的数学模型, 进行优化分析计算, 产生最优化设定值, 送给直接数字控制系统执行。监督计算机系统承担着高级控制与管理任务, 要求数据处理功能强、存储容量大等, 一般采用较高档微机。

(5) 以大规模集成电路和微型处理机为基础的 DCS 控制 集散控制系统 (Distributed

Control System, DCS) 是为了克服集中控制系统易失控、可靠性低的弊端而随之产生发展起来的控制系统。

集散控制系统又称为分布式控制系统。在集中型计算机控制系统中,一台主机往往要控制十几个甚至几十个回路,一旦该计算机出现故障,系统危险集中,会对生产带来很大影响。为了提高系统的安全性和可靠性,可将系统的控制权进行分级和分散。随着大规模集成电路及微型计算机技术的迅速发展,采用多个微型处理机为基础的现场控制站各自实现“分散控制”。通过计算机网络形成的高速数据通道,将所有过程信息传送到上位计算机,以便对生产过程进行集中监视和管理,从而构成了以“集中管理、分散控制”为核心的集散型计算机控制系统。其实质是利用计算机技术、信号处理技术、测量控制技术、通信网络技术和人机接口技术等对生产过程进行分散控制与集中监视、操作和管理的一种控制概念和系统工程技术。集散控制系统的组成框图如图 1-2 所示。

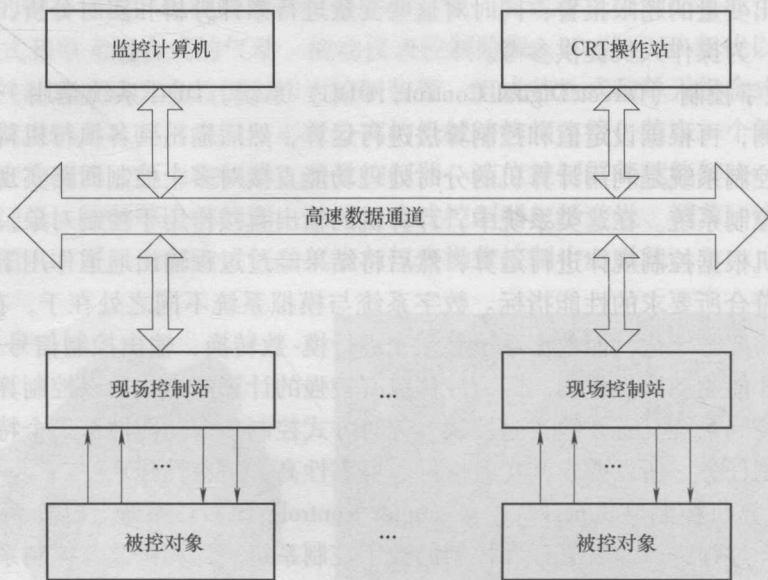


图 1-2 集散控制系统的组成框图

1) DCS 的产生及发展历程。DCS 是在集中式控制系统的基础上发展演变而来的。它的设计思想是“集中管理、分散控制”,与传统的集中式控制系统相比,控制系统的危险被分散,可靠性大大增强,具有显著的优越性。DCS 系统经过 20 多年的发展和变迁,主要经历了 4 个阶段。20 世纪 70 年代为初创期,80 年代为成熟期,90 年代由于计算机技术的快速发展,DCS 硬件和软件都采用了一系列高新技术,使 DCS 向更高层次发展,出现了第三代 DCS。DCS 发展到第三代,尽管采用了一系列新技术,但是,生产现场层仍然没有摆脱常规模拟检测仪表和执行机构的状况,因而制约了它的发展。

为实现 DCS 的变革,人们将现场模拟仪表改为现场数字仪表,并用现场总线实现互联。由此带来 DCS 控制站的变革,将控制站内的功能块分散地分布在各台现场数字仪表中,并可统一组态构成控制回路,彻底实现分散控制。

20 世纪 90 年代,现场总线技术的发展,现场总线国际标准的形成及现场总线数字仪表的生产,标志着新一代 DCS 的产生,即现场总线控制系统(Fieldbus Control System, FCS)。

2) DCS 的特点。

① 自治性。DCS 的自治性是指 DCS 的组成部分均可独立地工作，各控制站均可独立自主地完成所分配的规定任务，操作站能自主地实现监控和管理功能。

② 协调性。DCS 各工作站之间采用实时性的、安全可靠的通信网络传送各种信息并协调工作，以完成控制系统的总体功能和优化处理，实现整个系统信息共享。

③ 灵活性。DCS 的硬件和软件均采用开放式、标准化和模块化设计，系统可根据用户需要进行灵活配置。当需要改变控制流程时，通过组态软件及操作可改变系统的控制结构和便于系统的灵活扩充。

④ 分散性。DCS 的分散性包含地域的分散、设备的分散、功能的分散、电源的分散和危险的分散等含义，而分散的最终目的还是为了将危险分散，进而提高系统的安全性和可靠性。

⑤ 便捷性。DCS 操作方便，显示直观。其简洁的人机对话系统、CRT 交互显示技术等使得系统具有便捷性和实用性。

⑥ 可靠性。DCS 的生命力在于高可靠性、高安全性和高效率。为了保证 DCS 控制系统的可靠性，对系统结构采用容错设计，所有硬件采用冗余设计，软件采取容错设计、“电磁兼容设计”（指抗干扰能力与系统内外的干扰相适应，并留有充分的余地，以保证系统的可靠性）以及在线快速排查故障的设计等。

(6) 以微芯片技术为核心、智能仪表为基础的 FCS 控制 现场总线控制系统 (FCS) 是在计算机和网络技术的飞速发展下而迅猛发展起来的控制系统。传统的过程控制系统中，仪器设备与控制器设备之间是点对点的连接，现场总线控制系统中现场设备多点共享总线，不仅节约了连线，而且实现了通信链路的多点信息传输。

从物理结构上来说，现场总线控制系统主要由现场设备（智能化设备或仪表、现场 CPU、外围电路等）和传输介质（双绞线、同轴电缆、光纤等）组成。现场总线控制系统典型结构（以 FF 总线技术为例）如图 1-3 所示。

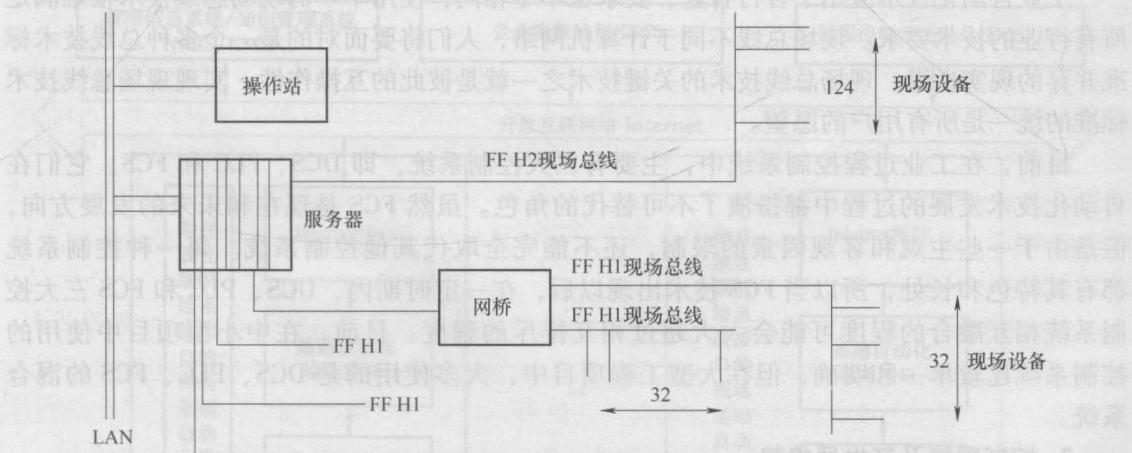


图 1-3 现场总线控制系统典型结构（以 FF 总线技术为例）

1) FCS 的技术特点。

① 系统的开放性。通信标准的公开、一致性使系统具备开放性。现场总线既可以与同层网络互联，也可以与不同层网络互联，各不同厂商设备之间也可以互联，还可实现网络数

数据库的共享。开放系统把选择设备进行系统集成的权力交给了用户，用户可以按自己的需求把来自不同厂商的产品组成任意大小的系统。

② 互操作性与互用性。互操作性是指互联设备之间、系统间的信息传递与沟通；互用性意味着用户选择的不同厂商或不同型号的产品、设备之间具有互换性。

③ 系统结构的分散性。现场总线已构成一种新的全分布式系统的体系结构，把 DCS 控制站的功能块分散地分配给现场的仪表，从而构成了虚拟控制站，彻底实现了分散控制，从根本上改变了现有 DCS 集中与分散相结合的集散控制系统，简化了系统结构，提高了系统可靠性和现场设备的适应性。

④ 现场设备的智能化与自治性。FCS 将传感测量、补偿计算、工程量处理与控制等功能分散到现场设备中完成，仅靠现场设备即可完成自动控制的基本功能，可随时诊断设备的运行状态。

2) FCS 的发展背景与趋势。FCS 作为第 5 代控制系统体系结构，体现了其分布、开放、互联、高可靠性的特点。

FCS 采用一对多的双向传输信号，采用数字信号，提高了数据传输精度，增强了可靠性。设备始终处于操作员的远程监控和控制状态下。现场总线的开放性可以使用户按需求自由选择不同厂商的设备并构成系统，而无须考虑接口问题。智能仪表具有通信、控制和运算等丰富的功能，且控制功能都分散到各个智能仪表中去了。正是由于 FCS 的以上特点，帮助用户降低了安装、使用和维护的成本，最终达到了增加利润的目的。

现场总线技术是控制技术、计算机技术、通信技术的交叉与集成，几乎涵盖了所有离散、连续工业领域，如过程自动化、加工制造自动化、楼宇自动化及家庭自动化等。它的出现和快速发展体现了控制领域对降低成本、提高可靠性、增强可维护性和提高数据采集智能化的要求。现场总线技术的发展体现为两方面：一方面是低速现场总线的不断发展和完善；另一方面是高速现场总线技术的发展。

工业自动化技术应用于各行各业，要求也不尽相同，使用单一的现场总线技术很难满足所有行业的技术要求。现场总线不同于计算机网络，人们将要面对的是一个多种总线技术标准并存的现实世界。现场总线技术的关键技术之一就是彼此的互操作性，实现现场总线技术标准的统一是所有用户的愿望。

目前，在工业过程控制系统中，主要有三大控制系统，即 DCS、PLC 和 FCS。它们在自动化技术发展的过程中都扮演了不可替代的角色。虽然 FCS 是现在和未来的发展方向，但是由于一些主观和客观因素的限制，还不能完全取代其他控制系统。每一种控制系统都有其特色和长处，所以当 FCS 技术出现以后，在一定时期内，DCS、PLC 和 FCS 三大控制系统相互融合的程度可能会大大超过相互排斥的程度。目前，在中小型项目中使用的控制系统比较单一和明确，但在大型工程项目中，大多使用的是 DCS、PLC、FCS 的混合系统。

2. 控制网络及其发展趋势

工业企业网络一般包含两部分：处理工业控制系统管理与决策信息的信息网络和处理控制现场实时测控信息的控制网络。信息网络一般处于企业中上层，处理大量的、变化的、多样的信息，具有高速综合的特征。控制网络主要位于企业中下层，处理实时的、现场的信息，具有实时性强、可靠安全性要求高等特征。

(1) 控制网络的定义与发展 控制网络是指将具有数字通信能力的测量控制仪表作为网络节点,采用公开、规范的通信协议,把控制设备连接成可以相互沟通信息、共同完成自控任务的网络系统。

与普通网络计算机系统相比,工业控制网络具有以下特点:

- 1) 实时性和时间确定性。
- 2) 信息多为短帧结构,且交换频繁。
- 3) 可靠性和安全性高。
- 4) 网络协议简单实用。
- 5) 网络结构具有分散性。
- 6) 易于实现与信息网络的集成。

(2) 控制网络与信息网络的集成 将控制网络和信息网络集成,主要基于以下几点考虑:

- 1) 可以建立企业综合实时信息库,为企业的优化控制、调度决策提供依据。
- 2) 可以建立分布式数据库管理系统,保证数据的一致性、完整性和可操作性。
- 3) 可以实现对现场设备及控制网络的远程监控、优化调度及远程诊断等功能。
- 4) 可以实现控制网络的远程软件维护与更新功能。
- 5) 可以将测控网络连接到更大的网络系统中,如 Intranet、Extranet 和 Internet。

(3) 管控一体化的网络集成式控制系统 管控一体化集成系统(Management-Control Integration System, MCIS)是采用计算机、网络、工业电视、数据库、自动控制 and 接口通信等诸多先进技术,以生产过程控制系统和工厂安全监控系统为基础,通过对企业生产管理、过程控制、安全监控等信息的处理、分析、优化、整合、存储和发布,应用现代化企业管理模式建立覆盖企业生产管理与基础自动化的综合系统。MCIS 可将企业生产全过程的实时数据、音视频数据及生产管理信息有机集成并优化,实现企业信息共享和有效利用,实现企业经营过程的整体优化。图 1-4 所示为开放互连网络管控一体化系统集成原理示意图,图 1-5 所示

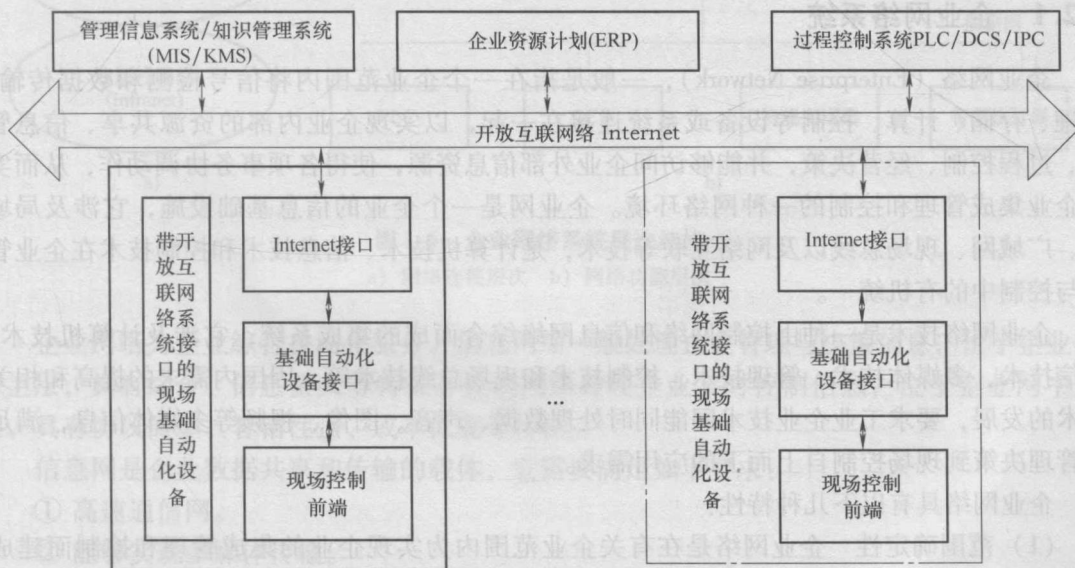


图 1-4 开放互连网络管控一体化系统集成原理示意图