



全国高等职业教育规划教材

现场总线技术 及其应用

主 编 郭 琼
副主编 姚晓宁

电子课件下载网址 www.cmpedu.com



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

全国高等职业教育规划教材

现场总线技术及其应用

主 编 郭 琼

副主编 姚晓宁

参 编 韩东起 单正娅



机械工业出版社

随着现场总线技术的不断发展与完善,其在工业控制领域中的应用越来越广泛。本书以网络与数据通信等知识为基础,详细介绍了 Profibus、CC-Link、Modbus 这几种常用现场总线的技术特点、技术规范、系统设计、硬件组态及其在控制系统中的构建与应用。最后一章还介绍了现场总线控制系统集成的概念、方法和原则,并通过对实际应用项目的分析阐述了现场总线技术应用的全过程。

本书在内容安排上强调现场总线的实际应用,结构合理,可作为高职高专院校自动化专业的教材,也可作为从事现场总线系统设计与应用开发的技术人员的培训教材或参考资料。

为配合教学,本书配有电子课件,读者可以登录机械工业出版社教材服务网 www.cmpedu.com 免费注册、审核通过后下载,或联系编辑索取(QQ: 81922385, 电话: (010) 88379739)。

图书在版编目(CIP)数据

现场总线技术及其应用/郭琼主编. —北京:机械工业出版社,2011.3

全国高等职业教育规划教材

ISBN 978-7-111-33108-7

I. ①现… II. ①郭… III. ①总线-技术-高等学校:技术学校-教材
IV. ①TP336

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 009112 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:石陇辉

责任印制:乔 宇

北京汇林印务有限公司印刷

2011 年 3 月第 1 版·第 1 次印刷

184mm×260mm·12 印张·296 千字

0001-3000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-33108-7

定价:21.00 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

网络服务

社服务中心:(010)88361066

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售一部:(010)68326294

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售二部:(010)88379649

读者服务部:(010)68993821

封面无防伪标均为盗版

出版说明

根据“教育部关于以就业为导向深化高等职业教育改革的若干意见”中提出的高等职业院校必须把培养学生动手能力、实践能力和可持续发展能力放在突出的地位,促进学生技能的培养,以及教材内容要紧密结合生产实际,并注意及时跟踪先进技术的发展等指导精神,机械工业出版社组织全国近60所高等职业院校的骨干教师对在2001年出版的“面向21世纪高职高专系列教材”进行了全面的修订和增补,并更名为“全国高等职业教育规划教材”。

本系列教材是由高职高专计算机专业、电子技术专业和机电专业教材编委会分别会同各高职高专院校的一线骨干教师,针对相关专业的课程设置,融合教学中的实践经验,同时吸收高等职业教育改革的成果而编写完成的,具有“定位准确、注重能力、内容创新、结构合理和叙述通俗”的编写特色。在几年的教学实践中,本系列教材获得了较高的评价,并有多品种被评为普通高等教育“十一五”国家级规划教材。在修订和增补过程中,除了保持原有特色外,针对课程的不同性质采取了不同的优化措施。其中,核心基础课程的教材在保持扎实的理论基础的同时,增加实训和习题;实践性较强的课程强调理论与实训紧密结合;涉及实用技术的课程则在教材中引入了最新的知识、技术、工艺和方法。同时,根据实际教学的需要对部分课程进行了整合。

归纳起来,本系列教材具有以下特点:

- 1) 围绕培养学生的职业技能这条主线来设计教材的结构、内容和形式。
- 2) 合理安排基础知识和实践知识的比例。基础知识以“必需、够用”为度,强调专业技术应用能力的训练,适当增加实训环节。
- 3) 符合高职学生的学习特点和认知规律。对基本理论和方法的论述容易理解、清晰简洁,多用图表来表达信息;增加相关技术在生产中的应用实例,引导学生主动学习。
- 4) 教材内容紧随技术和经济的发展而更新,及时将新知识、新技术、新工艺和新案例等引入教材。同时注重吸收最新的教学理念,并积极支持新专业的教材建设。
- 5) 注重立体化教材建设。通过主教材、电子教案、配套素材光盘、实训指导和习题及解答等教学资源的有机结合,提高教学服务水平,为高素质技能型人才的培养创造良好的条件。

由于我国高等职业教育改革和发展的速度很快,加之我们的水平和经验有限,因此在教材的编写和出版过程中难免出现问题和错误。我们恳请使用这套教材的师生及时向我们反馈质量信息,以利于我们今后不断提高教材的出版质量,为广大师生提供更多、更适用的教材。

机械工业出版社

前 言

随着微处理器技术、通信技术、网络技术及自动控制技术的不断发展,信息交换沟通的领域正在迅速覆盖从企业的现场设备层到控制及管理的各个层次。信息技术的飞速发展,引起了自动化系统结构、生产管理的变革,逐步形成了以网络集成自动化系统为基础的企业信息系统。现场总线就是顺应这一形势发展起来的新技术。

目前现场总线技术在各领域的应用越来越广泛,各企业对现场总线技术的人才需求也在不断增加,这就要求各高职高专院校积极培养熟悉现场总线技术并能熟练使用该技术的高技能应用型人才,从而满足企业对生产现场的控制需求。

现场总线控制技术是一门强调实际应用的课程。在工业现场,其发展与相关的应用层出不穷;而目前具有不少于20种国际标准的现场总线,在课程中不可能都作为授课内容,选取合适的教学内容和采用恰当的教学方法,是提高教学质量的关键。

西门子、三菱PLC在我国的应用较为普遍,也是高职相关课程中选用最多的PLC类型。为不失一般性,在现场总线技术课程中以这两种PLC为平台,引进相关的现场总线Profibus及CC-Link作为学习和实践的教学内容。同时,由于Modbus协议开放、应用广泛,将其通信内容也作为教学的重点内容,使得该课程既能满足自动化类专业相关课程的前后关联性,又能使学生了解现场总线在工业分布式系统中的作用以及现场总线控制系统的构建和使用方法。

本书在编写时考虑到课程涉及的知识点多、内容广等特点,以及高职高专学生的知识结构现状,结合生产实际,以案例带动知识点开展学习,注重培养学生解决实际问题的能力。

本书主要包括:现场总线的概念、发展状况及通信基础;Profibus现场总线的特点、系统构建方法及应用实例;CC-Link现场总线的特点、系统构建方法及应用实例;Modbus总线的特点、系统构建方法及应用实例。最后介绍了现场总线控制系统的集成方法及应用实例。

本书内容选择合理、结构清楚、图文并茂、面向应用,适合作为高职高专院校电气自动化、生产过程自动化、网络技术、楼宇自动化等专业的教学用书,也可作为工程人员的培训教材或相关科研人员的参考书。

本书由无锡职业技术学院郭琼主编。书中第1章由单正娅编写,第2章由韩东起编写,第3章由姚晓宁编写,第4~6章和附录由郭琼编写。全书由郭琼统稿。在本书的编写过程中,无锡东方船研机电工程有限公司徐峰工程师就其内容的形成提出了许多宝贵的意见和建议,在此深表谢意。

本书在编写过程中参考了大量书籍、文献及手册资料,在此向各位相关作者表示诚挚的感谢。同时,由于作者水平有限,而且现场总线技术是一种正在不断发展和完善的技术,书中难免有不恰当之处,敬请读者批评指正。

编 者

目 录

出版说明

前言

第1章 概述	1
1.1 现场总线的产生与发展	1
1.1.1 现场总线的产生	1
1.1.2 现场总线的本质	5
1.1.3 现场总线的发展	6
1.2 现场总线的结构及其特点	9
1.2.1 现场总线的结构	9
1.2.2 现场总线的特点	11
1.3 几种有影响的现场总线	11
思考与练习	13
第2章 现场总线的通信基础	14
2.1 总线的概念	14
2.1.1 基本术语	14
2.1.2 总线操作的基本内容	14
2.2 通信系统的组成	16
2.3 数据通信基础	17
2.3.1 数据通信的基本概念	17
2.3.2 数据编码	18
2.3.3 数据传输技术	19
2.3.4 网络拓扑结构与网络控制方法	24
2.3.5 数据交换技术	25
2.3.6 差错控制	26
2.4 通信模型	28
2.4.1 ISO/OSI 参考模型	28
2.4.2 现场总线通信模型	32
2.5 网络互连设备	33
2.6 现场总线控制网络	33
2.6.1 现场总线控制网络的节点	34
2.6.2 现场总线控制网络的任务	34
思考与练习	35
第3章 Profibus 总线及其应用	36
3.1 Profibus 总线基础	36

3.1.1 Profibus 总线的分类	36
3.1.2 Profibus 的通信协议	37
3.2 Profibus 的传输技术	41
3.2.1 用于 DP 和 FMS 的 RS-485 传输技术	42
3.2.2 用于 DP 和 FMS 的光纤传输技术	44
3.2.3 用于 PA 的 IEC 1158-2 传输技术	44
3.3 Profibus 控制系统的配置	45
3.4 Profibus-DP 控制系统	48
3.4.1 Profibus-DP 的基本性能	48
3.4.2 GSD 文件	49
3.4.3 Profibus-DP 的系统工作过程	50
3.4.4 Profibus-DP 控制系统的配置	52
3.5 Profibus 总线的应用	53
3.5.1 S7-200 PLC 与 S7-300 PLC 之间总线通信的实现	53
3.5.2 Profibus 技术在液位控制系统中的应用	58
3.6 实训项目 Profibus 现场总线控制系统的构建与运行	67
思考与练习	68
第 4 章 CC-Link 总线及其应用	69
4.1 CC-Link 总线的概念	69
4.2 CC-Link 总线网络的配置	70
4.3 主站模块 FX _{2N} -16CCL-M	71
4.3.1 FX _{2N} -16CCL-M 模块的结构	71
4.3.2 FX _{2N} -16CCL-M 模块的接线	73
4.3.3 FX _{2N} -16CCL-M 模块的缓冲存储器	74
4.3.4 创建主站程序	83
4.3.5 FX _{2N} -16CCL-M 模块的应用	84
4.4 从站模块 FX _{2N} -32CCL	89
4.4.1 FX _{2N} -32CCL 模块的性能	89
4.4.2 FX _{2N} -32CCL 模块与 CC-Link 系统的连接	90
4.4.3 FX _{2N} -32CCL 模块的认识	90
4.4.4 FX _{2N} -32CCL 模块的连线	92
4.4.5 FX _{2N} -32CCL 模块的缓冲存储器	93
4.4.6 FX _{2N} -32CCL 模块的应用	97
4.5 CC-Link 现场总线的应用	103
4.6 实训项目 CC-Link 总线控制系统的构建与运行	108
思考与练习	109
第 5 章 Modbus 总线及其应用	110
5.1 Modbus 总线的概念	110
5.2 Modbus RTU 通信	111
5.3 Modbus 功能码简介	113

5.3.1	功能码 01	113
5.3.2	功能码 02	113
5.3.3	功能码 03	114
5.3.4	功能码 05	114
5.3.5	功能码 06	115
5.3.6	功能码 16	115
5.4	实现 Twido 系列 PLC 之间的 Modbus RTU 通信	116
5.4.1	Twido PLC 简介	116
5.4.2	功能码 03 的使用	121
5.4.3	功能码 16 的应用	126
5.5	实现 S7-200 PLC 之间的 Modbus RTU 通信	128
5.5.1	Modbus 协议的安装	128
5.5.2	Modbus 地址	129
5.5.3	Modbus 通信的建立	130
5.5.4	应用举例	133
5.6	Modbus 协议在变频调速控制系统中的应用	137
5.6.1	控制要求及硬件配置	137
5.6.2	ATV31 变频器简介	138
5.6.3	通信程序的实现	141
5.7	实训项目 Modbus 通信系统的构建与运行	144
	思考与练习	144
第 6 章	现场总线控制系统集成及其应用	146
6.1	系统集成的概念	146
6.2	现场总线控制系统集成	147
6.2.1	现场总线控制系统集成的框架	147
6.2.2	现场总线控制系统集成的原则	149
6.3	现场总线控制系统集成的方法	149
6.3.1	FCS 和 DCS 的集成方法	150
6.3.2	FCS 和网络的集成方法	152
6.3.3	FCS 和其他现场总线的集成方法	154
6.4	现场总线控制系统集成的应用	155
6.4.1	现场总线控制系统集成中的几个问题	155
6.4.2	应用案例	156
	思考与练习	163
附录		164
附录 A	S7-300 PLC 简介	164
附录 B	STEP 7 编程软件的安装与使用	167
附录 C	MM420 变频器及其通信	177
附录 D	工业以太网简介	181
参考文献		184

第1章 概述

现场总线技术是一种发展于20世纪80年代中期、用于工业生产现场的新型工业控制技术，是一种在现场设备之间、现场设备与控制装置之间实现双向、互连、串行和多节点的数字通信技术。与传统控制系统相比，现场总线系统将控制功能下放到生产现场，使控制系统更为安全可靠；将原来面向设备选择控制和通信设备的工作方式转变为基于网络选择设备，使得系统设备互操作性增强；将传统控制系统技术含量较低且繁琐的布线工作量大大降低，使系统检测和控制单元的分布更加合理。20世纪90年代现场总线控制技术引入中国，结合Intranet和Internet的迅猛发展，现场总线技术日益显示出与传统控制系统相比无可替代的优越性。

1.1 现场总线的产生与发展

1.1.1 现场总线的产生

在工业和科学发展进程中，自动控制技术始终起着极为重要的作用，并广泛应用于各种领域。无论是在冶炼、化工、石油、电力、造纸、纺织和食品等传统工业，还是在航空、铁路等运输行业；无论是在宇宙飞船、导弹制导等国防工业，还是在洗衣机、电冰箱等家用电器，自动控制技术都得到了广泛的应用。控制系统的发展经历了基地式仪表控制系统、模拟仪表控制系统、直接式数字控制系统和集散控制系统，目前已发展到第5代控制系统——现场总线控制系统。

(1) 基地式仪表控制系统

在20世纪50年代以前，由于企业生产规模小，测控仪表处于发展的初级阶段，出现了具有简单检测与控制功能的基地式气动仪表，其信号采用0.02~0.1MPa的气动信号标准。各测控仪表自成体系，既不能与其他仪表或系统连接，也不能与外界进行信息沟通，操作人员只能通过现场巡视来了解生产情况，这就是第一代过程控制系统。

(2) 模拟仪表控制系统

随着生产规模的扩大，出现了气动、电动系列的单元组合式仪表。这些仪表采用统一的模拟量信号，如0.02~0.1MPa的气动信号，0~10V、4~20mA的电信号，并通过这些模拟量信号将生产现场的参数与信息传送到集中控制室，操作人员可在控制室内了解现场的生产情况，并实现对生产过程的操作和控制。模拟仪表控制系统于20世纪六七十年代占据了主导地位，但存在着模拟信号精度低、易受干扰等缺点。

(3) 直接式数字控制系统

由于模拟信号精度低、信号传输的抗干扰能力较差，人们开始寻求用数字信号取代模拟信号，出现了直接式数字控制。直接式数字控制（Direct Digital Control, DDC）系统于20世纪七八十年代占主导地位。它采用单片机、计算机或PLC作为控制器，控制器采用数字信

号进行交换和传输，克服了模拟仪表控制系统中模拟信号精度低的缺陷，显著提高了系统的抗干扰能力。

直接式数字控制系统的优点是控制方式、控制时机可以统一调度和安排，可以根据全局情况进行控制、计算和判断；缺点是对控制器要求很高，要求控制器必须具有足够的处理能力和极高的可靠性；当系统任务增加时，控制器的效率和可靠性会相应下降。

图 1-1 为直接式数字控制系统的示意图。计算机与生产过程之间的信息传递是通过生产过程的输入/输出设备进行的。过程输入设备包括输入通道（AI 通道、DI 通道），用于向计算机输入生产过程中的模拟信号、开关量信号或数字信号；过程输出设备包括输出通道（AO 通道、DO 通道），用于将计算机的计算结果输出并作用于控制对象。计算机通过过程输入通道对生产现场的变量巡回检测，然后根据变量，按照一定的控制规律进行运算，最后将运算结果通过输出通道输出，并作用于执行器，使被控量符合系统要求的性能指标。计算机控制系统由机箱、显示器、打印机、键盘及报警装置等设备组成，完成对生产过程的自动控制、运行参数监视、运行数据打印及声光报警等功能。

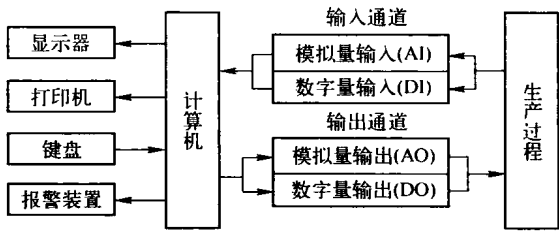


图 1-1 直接式数字控制系统示意图

DDC 属于计算机闭环控制系统，采用程序进行控制运算，是工业生产中较为普遍的一种控制方式。这种控制方式灵活、经济，只要改变控制算法和应用程序就可以实现对不同控制对象的控制，甚至可以实现更为复杂的控制。

DDC 中由计算机承担控制任务，系统可以满足较高的实时性和可靠性要求。但由于计算机直接承担 DDC 系统的控制任务，一旦计算机出现故障，就会造成该计算机控制的所有回路瘫痪，从而使控制系统的故障危险高度集中，运行风险增大。在 20 世纪 80 年代初，随着计算机性能的提高和体积的缩小，出现了内装 CPU 的数字控制仪表。基于“集中管理，分散控制”的理念，在数字控制仪表和计算机与网络技术的基础上，人们开发了集中、分散相结合的集散控制系统。

（4）集散控制系统

1975 年，美国霍尼韦尔（HoneyWell）公司首先推出世界上第 1 台集散控制系统（Distributed Control System，DCS）——TDC2000 集散型控制系统，成为最早提出集散控制系统设计思想的开发商。此后，欧、美、日等国的仪表公司纷纷研制出各自的集散控制系统，应用较多的有美国福克斯波罗（Foxboro）公司的 SPECTRUM、美国贝利控制（Bailey Controls）公司的 Network90、英国肯特（Kent）公司的 P4000、德国西门子（SIMENS）公司的 TELEPERM 以及日本横河（YOKOGAWA）公司的 CENTUM 等系统。我国使用 DCS 始于 20 世纪 80 年代初，由吉化公司化肥厂在合成氨装置中引进了 YOKOGAWA 产品，运行效果较好。我国坚持自主开发与引进技术相结合，在 DCS 产品开发方面取得了可喜的成绩，比较

有代表性的产品有浙江中控技术股份有限公司的 WebField ECS - 100、北京和利时系统工程股份有限公司的 MACS 等系统。

集散控制系统于 20 世纪八九十年代占据主导地位。这是一个由过程控制级和过程监控级组成的以通信网络为纽带的多级计算机控制系统，其核心思想是集中管理、分散控制，即管理与控制相分离。上位机用于集中监视管理功能，下位机分散在现场用于实现分布式控制，上、下位机通过控制网络互相连接以实现信息传递。因此，这种分布式控制系统能有效地克服集中式数字控制系统对控制器处理能力和可靠性要求高的缺陷，并广泛应用于大型工业生产领域。

图 1-2 是一个典型的 DCS 结构示意图，系统包括分散过程控制级、集中操作监控级和综合信息管理级，各级之间通过网络互相连接。分散过程控制级主要由 PLC、智能调节器、现场控制站及其他测控装置组成，是系统控制功能的主要实施部分。它直接面向工业对象，完成生产过程的数据采集、闭环调节控制、顺序控制等功能，并可与集中操作监控级进行数据通信。通信网络是 DCS 的中枢，它将 DCS 的各部分连接起来构成一个整体，使整个系统协调一致地工作，从而实现数据和信息资源的共享，是实现集中管理、分散控制的关键。集中操作监控级包括操作员站、工程师站和网间连接器等，完成系统操作、组态、工艺流程图显示、监视过程对象和控制装置的运行情况，并可通过通信网络向分散过程控制级发出控制和干预指令。综合信息管理级由管理计算机和网间连接器构成，主要是指工厂管理信息系统，它是 DCS 更高层次的应用，监视企业各部门的运行情况、完成生产管理和经营管理等。

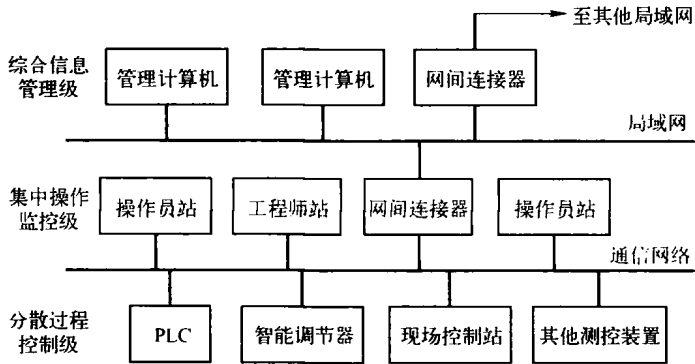


图 1-2 DCS 结构示意图

在集散控制系统中，分布式控制思想的实现正是得益于网络技术的发展和應用。但由于 DCS 系统在形成过程中，计算机系统早期存在系统封闭这一缺陷，而且各个厂家为达到垄断经营的目的对其通信网络采用封闭形式，使得各厂家的 DCS 产品自成系统，不同厂家的设备不能互连在一起，难以实现设备的互换与互操作，DCS 与上层 Intranet 和 Internet 信息网络之间实现网络互连和信息共享也存在很多困难，因此集散控制系统实际上成为一种封闭专用的、不具备互操作性的分布式控制系统，而且系统造价昂贵。在这种情况下，用户对网络控制系统提出了开放性和降低成本的迫切要求。

为了降低系统的成本和复杂性，更为了适应广大用户对系统开放性和互操作性的要求，

实现控制系统的网络化，一种新型的控制技术——现场总线控制技术迅速发展起来。

(5) 现场总线控制系统

现场总线控制系统（Fieldbus Control System, FCS）是一种分布式控制系统，是在 DCS 的基础上发展起来的。它把 DCS 中由专用网络组成的封闭系统变成了通信协议公开的开放系统，可以把来自不同厂家而遵守同一协议规范的各种自动化设备，通过现场总线网络连接成系统，从而实现自动化系统的各种功能；同时还将控制站的部分控制功能下放到生产现场，依靠现场智能设备来实现基本控制功能，使控制站可以集中处理更复杂的控制运算，更好地体现“功能分散、危险分散、信息集中”的思想。

现场总线技术产生于 20 世纪 80 年代，用于过程自动化、制造自动化、楼宇自动化等领域的现场智能设备互连通信网络。按照国际电工委员会（International Electrotechnical Commission, IEC）对现场总线（Fieldbus）的定义：现场总线是一种应用于生产现场，在现场设备之间、现场设备与控制装置之间实行双向、串行、多节点数字通信的技术。它综合运用了微处理技术、网络技术、通信技术和自动控制技术，把通用或者专用的微处理器置入传统的测量控制仪表，使之具有数字计算和数字通信的能力；采用诸如双绞线、同轴电缆、光缆、无线、红外线和电力线等传输介质作为通信总线；按照公开、规范的通信协议，在现场的多个设备之间以及现场设备与远程监控计算机之间实现数据传输和信息交换，形成各种适应实际需要的自动化控制系统。

FCS 结构如图 1-3 所示。现场总线作为智能设备的纽带，将挂接在总线上、作为网络节点的智能设备相互连接，构成相互沟通信息、共同完成自动控制功能的网络系统与控制系统。生产现场控制设备之间、控制设备与控制管理层网络之间通过这样结构的连接和通信，为彻底打破自动化系统的信息孤岛创造了条件，使设备之间以及系统与外界之间的信息交换得以实现，促进自动控制系统朝着网络化、智能化的方向发展。如果说计算机网络把人类引入信息时代，那么现场总线则使自控系统与设备加入到信息网络的行列，成为企业信息网络的底层，使企业信息沟通的范围一直延伸到生产现场。因此，可以说现场总线技术的出现标志着—一个自动化新时代的开端。

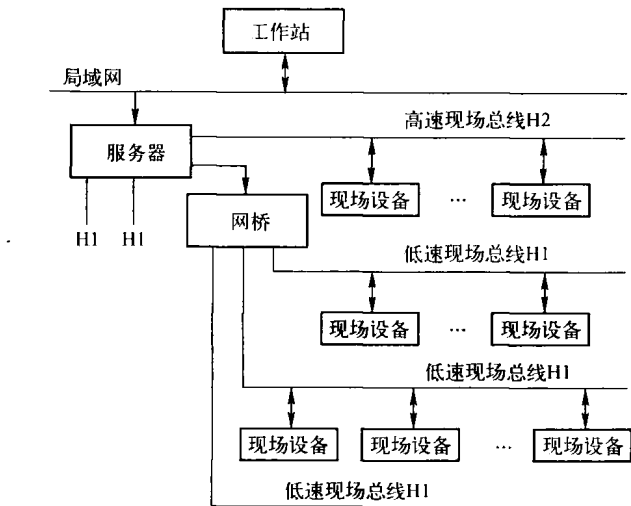


图 1-3 FCS 结构示意图

1.1.2 现场总线的本质

根据国际电工委员会标准和现场总线基金会的定义，现场总线的本质主要体现在以下几个方面。

1) 现场设备互连。现场设备是指在生产现场安装的自动化仪器仪表，按功能可分为变送器、执行器、服务器和网桥等，这些现场设备通过双绞线、同轴电缆、光缆、红外线、无线电等传输介质相互连接、相互交换信息。

2) 现场通信网络。现场总线作为一种数字式通信网络一直延伸到生产现场中，使现场设备之间互连、现场设备与外界网络互连，从而构成企业信息网络，完成生产现场到控制层和管理层之间的信息传递。

3) 互操作性。现场设备种类繁多，这就要求不同厂家的产品能够实现交互操作与信息互换，避免因选择了某一品牌的产品而被限制选择使用设备的范围。用户把不同制造商的各种智能设备集成在一起，进行统一组态和管理，构成需要的控制回路。现场设备互连是最基本的要求，但只有实现设备的互操作性，才能使得用户能够根据需求自由集成现场总线控制系统。

4) 分散功能块。FCS 对 DCS 的结构进行了调整，摒弃了 DCS 的输入/输出单元和控制站，把 DCS 控制站的功能块分散给现场的智能芯片或功能块，使控制功能彻底分散，直接面对对象。如图 1-4 所示，压差变送器用来测量模拟输入量；而处理后的模拟输出量用来控制调节阀；功能块 AI100 被置入变送器中，功能块 PID100、AO100 被置入调节阀中。由系统对这 3 个标准功能块及其信号连接关系进行组态，并通过通信调度执行控制系统的应用功能；将 AI 功能块的输出送给 PID 功能块，把经过 PID 运算得到的输出送给 AO 功能块，由 AO 功能块的输出来控制阀门的开度，从而实现对被控流量的控制。

由于控制功能分散到多台现场仪表中，并统一组态，所以用户可灵活选用各种功能块，构成所需的控制系统，实现系统彻底的分散控制。

5) 总线供电。总线在传输信息的同时，还给现场设备提供工作电源。这种供电方式用于要求本质安全环境的低功耗现场仪表，为现场总线控制系统在易燃易爆环境中的应用奠定了基础。

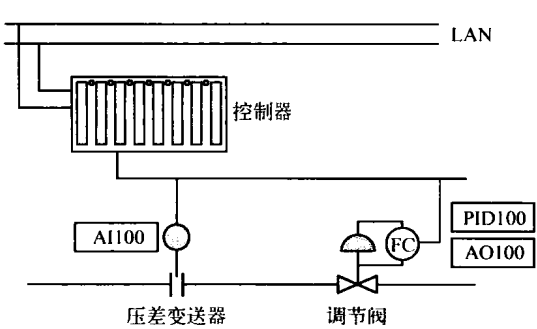


图 1-4 现场总线的分散功能块

本质安全技术是在爆炸性环境下使用电器设备时确保安全的一种方法。通常许多生产现场都有易燃易爆物质，为了确保设备及人身安全，必须采取安全措施，严格遵守安全防爆标准，保证这些具有可燃物质的环境不被点燃。

本质安全电器设备与可燃性气体的接触将不会产生潜在的环境危险。整个系统的设计使得即使在设备或连接电缆出现故障的情况下，可能出现的电火花或热效应也不足以引起环境爆炸。本质安全技术仅适用于低电压和低功耗的设备。

6) 开放式互连网络。现场总线为开放式互连网络，既可与同层网络互连，又可与不同层网络互连。它采用公开化、标准化、规范化的通信协议，只要符合现场总线协议，就可以

把不同制造商的现场设备互连成系统，用户不需要在硬件或软件上花费太多精力，就可以实现网络数据库的共享。

1.1.3 现场总线的发展

1. 现场总线的标准

现场总线的发展与微处理器技术、通信技术、网络技术等高新技术的发展及自动控制技术的不断发展分不开的。Honeywell 公司在 1983 年推出了 Smart 智能变送器，在原有模拟仪表的基础上增加了复杂的计算功能，并采用模拟信号与数字信号叠加的方法，使现场与控制室之间的连接由模拟信号过渡到数字信号，为现场总线仪表提出了新的发展方向。其后世界上各大公司相继推出了具有不同特色的智能仪表，如 Rosemount 公司推出了 1151 智能变送器，Foxboro 公司推出了 820、860 智能变送器等，这些智能变送器带有微处理器和存储器，能够进行模拟信号到数字信号的转换处理，还可完成各种信号的滤波和预处理，给自动化仪表的发展带来了新的生机，为现场总线的产生奠定了一定基础。

美国仪表协会（Instrument Society of America, ISA）下属的 ISA/SP50 工作组于 1984 年开始制定现场总线标准。1985 年 IEC 决定由 Proway Working Group 负责现场总线体系结构和标准的研究与制定工作。1986 年德国开始制定过程现场总线（Process Fieldbus）标准，简称 Profibus，该标准 1990 年问世，并成为欧洲标准 EN 50170。1992 年 IEC 批准了 ISA/SP50 的物理层标准，同年由 Simens、Rosemount、ABB、Foxboro 和 Fisher 等 80 家公司联合成立可互操作系统协议（Interoperable System Protocol, ISP）组织，在德国 Profibus 标准的基础上共同制定现场总线标准。1993 年由 Honeywell、Bailey 等公司成立了工厂仪表世界协议（World Factory Instrumentation Protocol, WorldFIP）组织，并以法国标准 FIP 为基础研究并制定现场总线标准。

尽管各仪表制造商已经看到制定统一现场总线标准的重要性，且现场总线控制系统有着广阔的应用前景，但现场总线标准在实际制定中并不顺利。由于行业、应用地域的不同及产品推出的时间不同等多种因素，加上各公司和企业集团受自身利益的驱使，导致现场总线标准的制定工作进展十分缓慢，直到 1993 年现场总线物理层规范 IEC 61158.2 才正式成为国际标准。

1994 年，ISA 的 ISP 组织和 World FIP 北美分部合并，成立了现场总线基金会（Fieldbus Foundation, FF），并制定针对过程工业而优化设计的现场总线标准，即基金会现场总线（the Foundation Fieldbus）。1996 年，现场总线基金会发布 H1 低速总线标准。1997 年，应用层服务定义 IEC 61158.5 和应用层协议规范 IEC 61158.6 成为国际标准最终草案，并发布对基金会现场总线性能实验和互操作性测试结果。1998 年，现场总线的链路层服务定义 IEC 61158.3 和链路层协议规范 IEC 61158.4 成为国际标准最终草案，并通过放弃原定的高速 H2 现场总线开发计划，转而开发高速以太网 HSC 的高速现场总线方案。1999 年，高速以太网草案发布，并根据渥太华会议纪要，将原来的 IEC 61158.3 ~ IEC 61158.6 技术规范作为新标准 IEC 61158 的类型 1，而其他总线按原技术规范作为新标准的类型 2 ~ 类型 8。2000 年，由 8 种类型组成的 IEC 61158 现场总线国际标准最终获得通过。类型 1 ~ 类型 8 的现场总线名称分别是：IEC 61158 技术报告、ControlNet、Profibus、P-Net、FF HSE、Swift Net、WorldFIP 及 Interbus，这 8 种类型的总线采用了完全不同的通

信协议且相互间是平等的。

为了进一步完善 IEC 61158 标准，现场总线维护工作组（IEC/SC65C/MT9）在 8 种类型现场总线的基础上不断完善扩充，于 2001 年 8 月制定出由 10 种现场总线组成的第 3 版现场总线标准。2003 年 4 月，IEC 61158 现场总线标准第 3 版正式成为国际标准。这 10 种类型的现场总线名称及相关说明如表 1-1 所示。其中，IEC 61158 类型 1 是 IEC 推荐的现场总线标准。根据使用场合和用途不同，现场总线又分为 H1 低速现场总线和 H2 高速现场总线。

表 1-1 IEC61158 第 3 版现场总线类型

类型	名 称	说 明
1	TS 61158 现场总线	由 1999 年 1 季度出版的 IEC 61158 TS 技术规范全面定义的现场总线，称做类型 1
2	Control Net 现场总线	由美国罗克韦尔公司于 1997 年推出的面向控制层的实时性现场总线
3	Profibus 现场总线	由德国西门子等公司于 1987 年推出，符合德国国家标准 DIN19245 和欧洲标准 EN50170 的现场总线
4	P-Net 现场总线	丹麦 Process-Data Sikebory Aps 公司 1983 年开始开发，1987 年成为丹麦的国家标准，1996 年成为欧洲总线标准的一部分（EN 50170V.1）
5	FF HSE 高速以太网	HSE 是现场总线基金会在摒弃了原有高速总线 H2 之后的新作，FF 现场总线基金会于 1998 年明确将 HSE 定位于实现控制网络与互联网 Internet 的集成
6	Swift Net 现场总线	由美国 SHIP STAR 协会主持制定，得到美国波音公司的支持，主要用于航空和航天等领域
7	WorldFIP 现场总线	由 WorldFIP 协会制定并大力推广，WorldFIP 协议是 EN50170 欧洲标准的第 3 部分
8	Interbus 现场总线	由德国 Phoenix Contact 公司开发，Interbus Club 俱乐部支持，适用于分散输入/输出以及不同类型控制系统间的数据传输
9	FF H1 现场总线	由 FF 现场总线基金会负责制定
10	Profinet 实时以太网	Profibus 用户组织 PNO 于 2001 年 8 月发表了 Profinet 规范，Profinet 将工厂自动化和企业信息管理层 IT 技术有机地融为一体，同时又完全保留了 Profibus 现有的开放性

长期以来，现场总线的发展形成了多种总线并存的局面，而且每种总线在应用与发展中已形成自己的特点和应用领域，这使得现场总线标准在短时间内还难以统一，设备的互连、互通与互操作问题很难解决。于是，现场总线开始转向以太网，并已逐渐被工业自动化系统接受。为了满足实时性能应用的需要，各大公司和标准组织提出了各种提升工业以太网实时技术的解决方案，产生了实时以太网（Real Time Ethernet，RTE）。为了规范这部分工作，2003 年 5 月，实时以太网工作组（IEC/SC65C/WG11）负责制定 IEC 61784-2 “基于 ISO/IEC 8802.3 的实时应用系统中工业通信网络行规”国际标准，该标准包括 11 种实时以太网行规集。2007 年出版 IEC 61158 第 4 版国际现场总线标准采纳了经过市场考验的 20 种主要现场总线、工业以太网和实时以太网，具体类型如表 1-2 所示，其中 Swift Net 总线因为市

场推广应用不理想等原因被撤销。

表 1-2 IEC61158 第 4 版现场总线类型

类 型	名 称	类 型	名 称
1	TS 61158 现场总线	11	TC-net 实时以太网
2	C IP 现场总线	12	EtherC A T 实时以太网
3	Profibus 现场总线	13	Ethernet PowerLink 实时以太网
4	P-Net 现场总线	14	EPA 实时以太网
5	FF HSE 高速以太网	15	Modbus- RTPS 实时以太网
6	Swift Net 现场总线	16	SERCOS I、II 现场总线
7	WorldFIP 现场总线	17	VNET/IP 实时以太网
8	Interbus 现场总线	18	CC-Link 现场总线
9	FF H1 现场总线	19	SERCOS III 实时以太网
10	Profinet 实时以太网	20	HART 现场总线

由此可见，IEC 61158 第 4 版系列标准代表了现场总线技术和实时以太网技术的最新发展。各主要企业除了力推自己的总线产品以外，也都尽力开发接口技术，将自己的总线产品与其他总线相连接。目前，现场总线技术还处于发展和完善阶段，标准的完善和统一在短期内还很难实现。总的来说，现场总线将向着工业以太网以及统一的国际标准方向发展。

2. 现场总线对自动控制系统的影响

现场总线的产生对自动控制系统的发展具有极大的推动作用和划时代的意义，主要表现在以下几个方面。

1) 现场总线控制系统的信号类型：现场信号由传统的模拟信号制转换为双向数字通信的现场总线信号制。

2) 自动控制系统的体系结构：将由模拟与数字的混合控制转换为全数字现场总线控制系统，同时自动控制系统的设计方法和安装调试方式也将随着体系结构的变化而发生重大变化。

3) 自动控制系统的产品结构：现场设备逐步向智能化方向发展，具有程序及参数存储、智能控制功能及现场总线接口，并在现场完成一定的控制功能。

4) 现场总线为实现企业综合自动化提供了基础：现场总线把自动控制设备和系统带进了信息网络之中，避免了传统控制设备出现的信息孤岛。随着设备的智能化和自治化程度不断加强，现场信息的集成能力大大提高，这为企业的信息化建设和系统信息集成提供了强大的基础平台。

5) 现场总线技术打破了传统垄断：由于现场总线采用标准化、开放性的解决方案，彻底打破了控制系统中产品和技术的垄断，同时各大企业为了推广自己的产品、提高市场占有率，也尽量公开有关的技术方案，用户对系统配置、设备选型有很大的自主权。

总之，现场总线技术为自动控制领域带来了新的发展机遇，对国产现场设备及仪表提出新的要求并提供新的市场机会，且随着现场总线国际标准的颁布，国内外的企业处在了同一起跑线上。国内的系统集成商可利用通用化趋势降低成本，发挥系统设计和软件的优势参与竞争，开发出具有自主知识产权的、面向优势行业的、具有专家及智能控制功能的现场总线

控制系统。

3. 现场总线对自动化仪表的影响

现场总线技术的应用发展也推动了自动化仪表和装置的发展，对自动化仪表的影响主要表现在变送器和执行器的发展方面。

现场总线技术对变送器的推动主要表现在以下几个方面。

1) 传送和测量精度提高。采用数字量传递信号，可以减少传送和转换环节，提高仪表的传送精度和测量精度。

2) 仪表功能增强。仪表具有自动补偿能力，通过软件可以对传感器的非线性、温漂、时漂等性能进行自动补偿；通电后可实现自检功能，检查传感器各部分是否正常，并做出相应判断；可根据内部程序自动进行统计处理、去除异常数值等数据处理。

3) 可远程设定或远程修改组态数据，进行信息存储和记忆，存储传感器的特征数据、组态信息和补偿特性等。

现场总线技术对执行器在发展过程中的影响表现在以下几个方面。

1) 提高调节阀控制性能，设定控制阀流量特性。采用现场总线技术后，具有固有特性的调节阀可以拥有多种输出特性，使不能进行阀芯形状修正的阀（如蝶阀）也可以改变流量特性，可以使非标准特性修正为标准特性等。

2) 功能强大，使用方便。可以实现双向通信、PID 调节、在线自动标定、自校正与自诊断及行程保护、电动机过热保护、过力矩保护、输出现场阀位指示和故障报警等功能。

3) 实现远程诊断和控制。对控制阀可以进行远程监控，完成手动与自动之间无扰动切换；能预测控制阀故障，为设备的合理维护提供分析和建议。

4) 降低安装与调试工作量。智能电动执行器一般将整个控制回路安装在一台现场仪表里，将伺服电动机、现场仪表控制器集成为一体，电动执行器一体化，使得执行器的安装与调试工作都得到了简化。

由于现场总线适应了工业控制系统向网络化、智能化、分散化发展的需求，它的出现使传统的模拟仪表逐步向智能化数字仪表方向发展，并具有数字通信功能。因此现场总线成为工业自动化技术的热点，受到了普遍的关注，且对企业的生产方式、管理模式都将产生深远的影响。

1.2 现场总线的结构及其特点

1.2.1 现场总线的结构

在传统的控制系统中，现场设备与控制器之间的连接采用一对一的设备连接，如图 1-5 所示。即位于现场的测量设备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。当所控制的电器元件数量达到数十个甚至数百个时，整个系统的接线就显得十分复杂，施工和维护都十分不便。

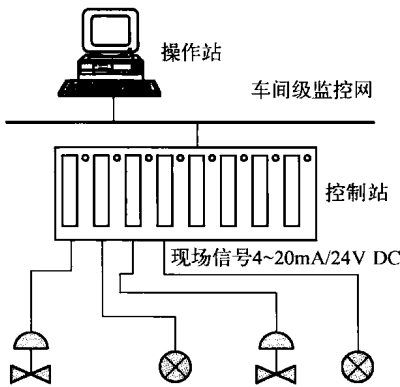


图 1-5 传统控制系统的结构