

全国普通高校自动化类专业规划教材



Fieldbus and Process Control 现场总线技术与过程控制



朱晓青 ◎编著

Zhu Xiaoqing

清华大学出版社

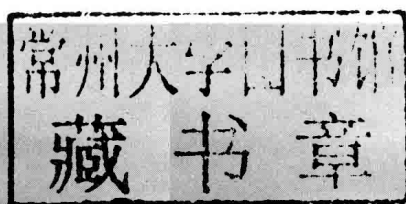


非
外
借

全国普通高校自动化类专业规划教材

Fieldbus and Process Control

现场总线技术与过程控制



朱晓青 ◎编著
Zhu Xiaoqing

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书是作者在多年教学及工程实践基础上形成的一部教材。本书较系统地介绍了有关过程控制与现场总线技术的基本理论、基本结构,以及现场总线系统实际应用的基本方法与技术等。主要围绕基金会现场总线系统和 Profibus-PA 现场总线系统展开介绍。全书共 5 章,包括过程控制基础、现场总线技术基础、现场总线控制系统、控制系统实现的工程基础以及可靠性分析基础等。

本书可作为自动化专业或相关专业本科生现场总线技术与过程控制类课程教材或教学参考书,也可作为相关工程技术人员的参考资料。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

现场总线技术与过程控制/朱晓青编著. —北京:清华大学出版社,2018

(全国普通高校自动化类专业规划教材)

ISBN 978-7-302-47672-6

I. ①现… II. ①朱… III. ①总线—过程控制—高等学校—教材 IV. ①TP336

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 155295 号

责任编辑:梁 颖 柴文强

封面设计:傅瑞学

责任校对:李建庄

责任印制:丛怀宇

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

邮 编:100084

社 总 机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质量反馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

课件下载: <http://www.tup.com.cn>, 010-62795954

印 装 者:北京嘉实印刷有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm

印 张:15.25

字 数:368 千字

版 次:2018 年 6 月第 1 版

印 次:2018 年 6 月第 1 次印刷

印 数:1~1500

定 价:45.00 元

产品编号:070665-01

随着计算机技术与通信技术的迅速发展,现场总线在工业控制系统中的应用业已越来越广泛。本书正是针对这种情况,对现场总线技术在工业过程控制中的应用等问题进行了较系统的介绍;并且重点对现场总线系统与实现过程控制的基本装置之间的关系进行了介绍。本书也参考了国内外相关教材以及该领域的最新进展编写,旨在为与自动化技术相关专业学生提供良好的工程基础。

全书共 5 章。第 1 章简要介绍现场总线的技术背景和发展情况,对过程控制和过程控制仪表进行了简要回顾,同时也简要介绍了计算机控制系统的基本构成等。第 2 章介绍现场总线系统,包括其技术特点、现场总线通信机制以及相应的国际标准等。第 3 章介绍现场总线控制系统,系统硬件方面介绍了包括构成基金会现场总线系统和 Profibus-PA 现场总线系统的仪表设备、构成和 Profibus-DP 总线系统的电气控制设备;系统软件方面介绍了包括过程控制功能的软件功能块实现方式、基金会现场总线控制系统的功能块结构与参数、功能块组态以及系统集成等。第 4 章介绍过程控制设计方面的相关知识,内容包括基本设计程序、仪表管线图、仪表回路图以及 SAMA 图等。第 5 章介绍控制系统可靠性分析方面的相关知识,内容包括可靠性指标、系统可靠性模型、系统可靠性试验以及提高控制系统可靠性的措施等。

本书体系结构较为完整,是在多年教学及工程实践基础上形成的一部教材。本书内容与工程结合较强,可读性好。全书图文并茂、通俗易懂。各章自成体系又融会贯通,可方便读者有选择地学习。本书既注重系统性又注重时代性,各章节后安排了相关习题,以帮助学生巩固所学知识。

本书可作为自动化类专业或相关专业本科生课程教材或教学参考书,也可作为相关工程技术人员的参考资料。

对本教材各章内容的讲授提出教学建议如下:

教学内容	学习要点及教学要求	课时安排	
		全部授课	部分授课
第 1 章 引言与过程控制基础	- 了解现场总线技术的背景 - 了解现场总线技术与过程控制的基本关系 - 了解或回顾过程控制的基本特性与实现方法 - 了解或回顾 PID 控制的基本原理及其组合与应用 - 了解或回顾过程控制仪表的基础知识 - 了解或回顾计算机控制系统的基本构成 - 了解或回顾分布式控制系统的基本概念	4	2

续表

教学内容	学习要点及教学要求	课时安排	
		全部授课	部分授课
第2章 现场总线技术	- 了解现场总线的基本定义 - 了解现场总线系统的特点 - 了解或回顾数据通信的基础知识 - 了解或回顾网络技术的基础知识 - 掌握基金会现场总线(FF)和 Profibus-PA 现场总线实现通信的基本原理 - 掌握 Profibus-DP 现场总线实现通信的基本原理 - 了解常用的现场总线系统的基本结构	6	4
第3章 现场总线控制系统	- 了解现场总线控制系统的基本定义 - 掌握基金会现场总线和 Profibus-PA 现场总线设备的基本原理与构成 - 掌握 Profibus-DP 现场总线设备的基本原理与构成 - 掌握现场总线控制系统的基本结构 - 了解常用的分布式系统的编程语言和国际标准 - 掌握现场总线控制系统中常用的功能块语言基本原理及相关参数 - 了解基金会现场总线设备中功能块的基本配置 - 掌握基金会现场总线控制系统控制策略组态的基本内容和参数设置的基本方法 - 了解 Profibus-PA 现场总线系统组态的基本内容	16	16
第4章 控制系统工程设计基础	- 了解控制工程设计的主要内容 - 掌握工艺流程图的基本表达方式 - 掌握控制流程图的基本表达方式 - 掌握管道及仪表流程图的基本表达方式 - 掌握 SAMA 图的基本表达方式 - 掌握仪表回路图的基本表达方式	2	0
第5章 控制系统可靠性分析	- 了解控制系统可靠性的主要指标 - 了解控制系统进行可靠性分析的基本方法 - 了解进行系统可靠性测试的基本原理和基本方法 - 了解提高控制系统可靠性的基本方法与措施	2	0
习题讲解与课堂讨论		2	2
实验	实验内容主要涉及基金会现场总线系统或 Profibus-PA 现场总线系统的功能块组态	8	8
教学总学时建议	自动化专业开设 40 学时,即 32+8(理论+实验)。其他专业第 4 章和第 5 章可以不予讲授,开设 32(24+8)学时	40	32

限于作者水平,书中难免存在不足之处,敬请读者批评指正。

编者
2018 年 3 月

第 1 章	引言与过程控制基础	1
1.1	现场总线的技术背景	1
1.1.1	现场总线技术的发展过程	1
1.1.2	现场总线技术与过程控制	4
1.2	过程控制基础知识	7
1.2.1	工业过程控制基础	7
1.2.2	基本 PID 控制算法	8
1.2.3	PID 参数的整定	9
1.2.4	PID 控制算法的数字化、改进与组合	11
1.3	过程控制仪表技术	16
1.3.1	传感器	16
1.3.2	变送器	27
1.3.3	调节器	29
1.3.4	执行器	29
1.3.5	其他控制仪表	32
1.3.6	控制仪表的发展	33
1.4	计算机控制系统	35
1.4.1	计算机控制系统的硬件结构	36
1.4.2	计算机控制系统的软件体系	36
1.4.3	分布式计算机控制系统	37
1.5	本章小结	40
	习题	40
	参考文献	41
第 2 章	现场总线技术	42
2.1	现场总线系统概述	42
2.1.1	现场总线的定义	42
2.1.2	现场总线系统的特点	43
2.2	现场总线通信机制	46
2.2.1	数据通信基础	46
2.2.2	网络技术基础	52
2.2.3	基金会现场总线及 Profibus-PA 现场总线通信技术	61
2.2.4	Profibus-DP 总线通信技术	68
2.3	现场总线技术的标准化	73
2.3.1	现场总线技术的国际标准	73

IV 现场总线技术与过程控制

2.3.2 常用的现场总线简介	74
2.4 本章小结	82
习题	83
参考文献	83
第3章 现场总线控制系统	84
3.1 现场总线控制系统的定义	84
3.2 现场总线设备	85
3.2.1 基金会现场总线和 Profibus-PA 现场总线设备	85
3.2.2 Profibus-DP 现场总线设备	100
3.3 现场总线控制系统	112
3.3.1 现场总线控制系统与传统计算机控制系统	112
3.3.2 现场总线控制系统的软件实现	120
3.3.3 功能块	122
3.3.4 现场总线设备中的功能块	129
3.4 组态	133
3.4.1 网络组态	133
3.4.2 设备组态	135
3.4.3 控制策略组态	141
3.5 应用案例	164
3.6 Profibus 现场总线系统的组态	180
3.7 系统集成	185
3.8 本章小结	188
习题	189
参考文献	190
第4章 控制系统工程设计基础	191
4.1 过程控制系统的工程设计简介	191
4.2 工艺流程图	193
4.3 控制流程图	195
4.4 管道及仪表流程图	195
4.4.1 仪表位号	195
4.4.2 仪表功能字母代号	196
4.4.3 仪表的图形符号	197
4.4.4 采用 P&ID 图进行工程设计	200
4.5 接线图	203
4.6 SAMA 图	203
4.7 仪表回路图	210
4.8 组态文档	214

4.9 本章小结	214
习题.....	215
参考文献.....	215
第 5 章 控制系统可靠性分析	216
5.1 可靠性指标	216
5.2 可靠性分析	220
5.3 系统可靠性测试	223
5.4 提高现场总线控制系统与分布式控制系统可靠性的措施	224
5.5 本章小结	231
习题.....	231
参考文献.....	231
部分习题参考答案	232

引言与过程控制基础

教学目标

现场总线控制系统的基本框架在很大程度上还是基于传统控制系统的,因此本章将简要回顾过程控制的基本概念以及自动控制中常用的过程控制仪表的基本构成。需要说明的是,这里只对过程控制和过程控制仪表的结论性要点做了列举,对首次学习这些知识的人来说,本章的内容是不够的,还需要查阅相关书籍。通过对本章内容的学习,读者能够:

- 了解现场总线技术的背景;
- 了解现场总线技术与过程控制的基本关系;
- 了解或回顾过程控制的基本特性与方法;
- 了解或回顾 PID 控制的基本原理及其组合与应用;
- 了解或回顾过程控制仪表的基础知识;
- 了解或回顾计算机控制系统的基本构成;
- 了解或回顾分布式控制系统的基本概念。

1.1 现场总线的技术背景

现场总线是近年来迅速发展起来的一种工业数据总线,也是当今自动化领域技术发展的热点或方向之一。它主要解决工业现场的智能化仪器仪表、控制器、执行机构等现场设备间的数字通信以及这些现场控制设备和高级控制系统之间的信息传递问题。由于现场总线具有简单、可靠、经济实用等一系列突出的优点,因而受到了许多标准团体和计算机厂商的高度重视。

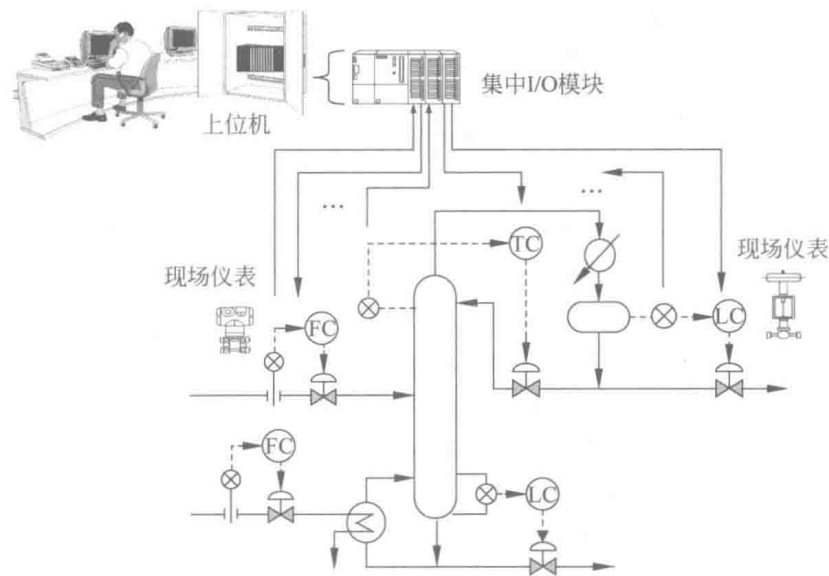
1.1.1 现场总线技术的发展过程

1984 年,美国 Intel 公司提出一种基于计算机分布式控制系统的位总线(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总线(Multibus)分离,形成了现场总线的最初概念。20 世纪 80 年代中期,美国 Rosemount(罗斯蒙特)公司开发了一种可寻址的远程传感器(HART)通信协议。其采用在 4~20mA 模拟信号上叠加一种频率信号,用双绞线实现数字信号传输。HART 协议已是现场总线的雏形。1985 年,由美国 Honeywell(霍尼韦尔)和 Bailey(贝利)等大公司发起,成立了 WorldFIP 并制定了 FIP 协议。1987 年,以德国 Siemens(西门子)等几家著名公司为首成立了一个专门委员会制定了 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,世界逐渐形成了两个针锋相对的互相竞争的现场总线集团:一个是以 Siemens、Rosemount、Yakagawa 为首的 ISP 集团;另一个是由 Honeywell、Bailey 等公司牵头的 WorldFIP 集团。1994 年,两大集团宣布合并,融合成现场总线基金会(Fieldbus

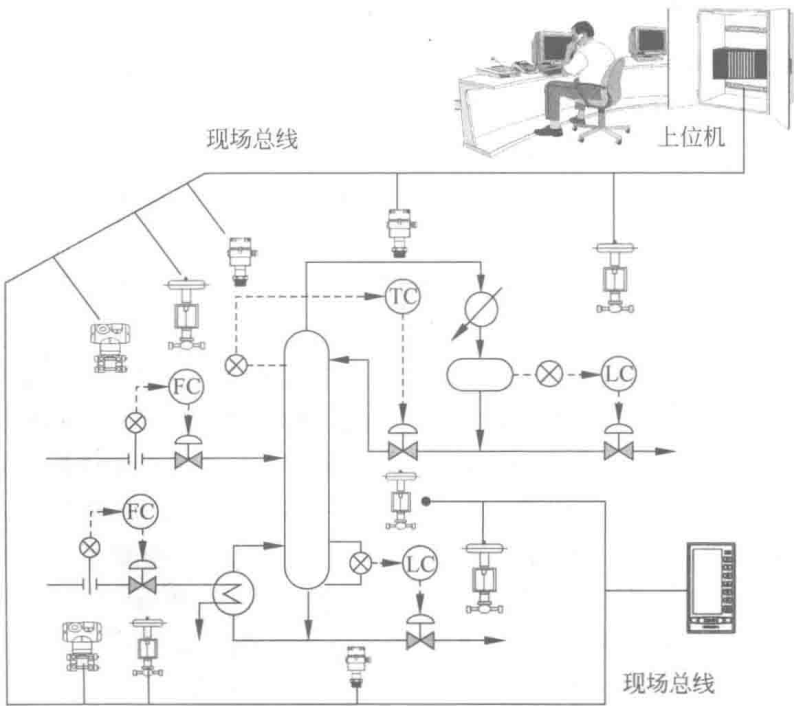
2 现场总线技术与过程控制

Foundation,FF)。基金委员会成员共同遵循 IEC/ISA SP50 协议标准,共同商定现场总线技术发展阶段时间表。

现场总线基金会制定的现场总线标准主要是解决过程自动化的问题,它使得传统的计算机控制系统中的数据通信延伸到了控制现场。图 1-1 所示说明了常规仪表控制系统与现场总线仪表控制系统的主要区别。



(a) 常规仪表控制系统



(b) 现场总线仪表控制系统

图 1-1 用于过程控制的现场总线系统图

另一方面,可编程控制器(PLC)技术在工业控制领域的广泛应用与快速发展,也促进了现场总线技术的发展。20 世纪 60 年代,由于美国汽车工业需要进行大规模的技术改造和设备更新,传统的继电器控制装置,有着体积庞大、故障率高、柔性差、能耗高、可靠性差、调试困难等缺点。1968 年,由美国通用汽车公司提出使用新一代控制器的需求与设想。次年,美国 DEC(数字设备公司)首先研制成功第一台可编程逻辑控制器 PDP-14。差不多同时,美国 Modicon(莫迪康)公司也研制出 084 控制器。它们的问世,引起了全世界的瞩目,美国和西欧国家、日本等国的公司,也相继研究开发出类似的产品。之后,微处理器技术的进步,大大地促进了 PLC 技术的发展,特别是推进了 PLC 系统网络通信能力的发展。PLC 厂家在原来 CPU 模板上提供物理层 RS-232/422/485 接口的基础上,逐渐增加了各种通信接口,而且提供完整的通信网络。这些网络的主要作用之一就是可以解决控制系统与分布在各现场的输入/输出设备之间的通信。由于数据通信技术发展很快,用户对开放性要求很强烈,这就使得这些通信网络逐步发展成为现场总线。典型的代表产品有美国 Rockwell A-B(罗克韦尔)公司主推的 ControlNet、DeviceNet,德国 Siemens 公司主推的 Profibus-DP,以及德国 Phoenix Contact(菲尼克斯康泰)公司主推的 Interbus 等。图 1-2 说明了常规 PLC 控制系统与带现场总线的 PLC 系统的主要区别。

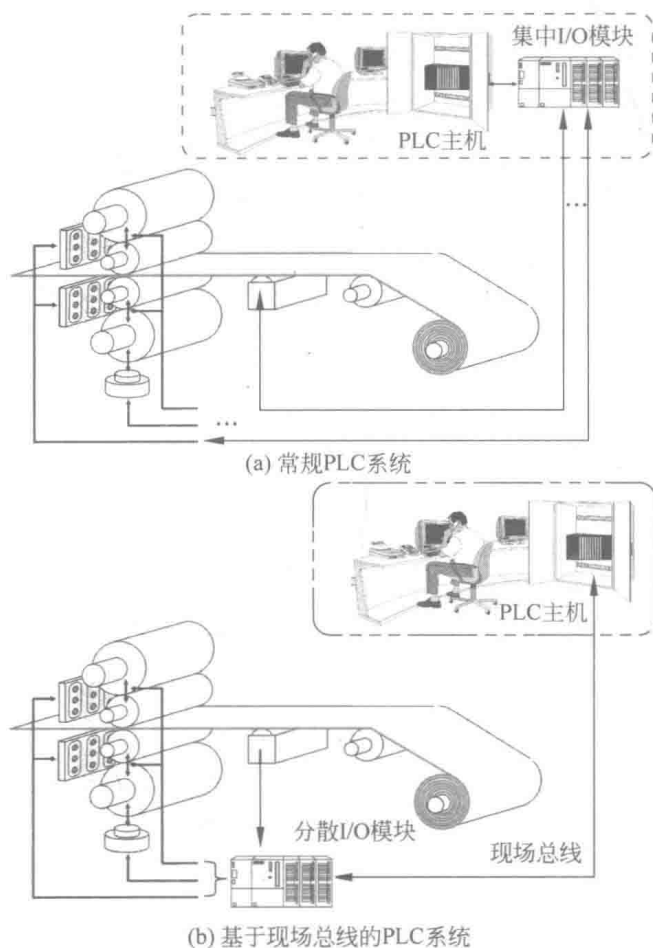


图 1-2 用于 PLC 的现场总线系统图

4 现场总线技术与过程控制

现场总线技术的出现与发展,是由于现场总线有其鲜明的特点,这些特点主要包括:

(1) 系统的开放性

开放系统是指通信协议公开,不同厂家的设备之间可进行互连并实现信息交换,现场总线开发者就是要致力于建立统一的工厂底层网络的开放系统。这里的开放是指对相关标准的一致性、公开性,强调对标准的共识与遵从。一个开放系统,它可以与任何遵守相同标准的其他设备或系统相连。一个具有总线功能的现场总线网络系统必须是开放的,开放系统把系统集成的权利交给了用户。用户可按自己的需要和对象把来自不同供应商的产品组成大小随意的系统。

(2) 系统的互可操作性与互用性

这里的互可操作性,是指实现互连设备间、系统间的信息传送与沟通,可实行点对点,一点对多点的数字通信。而互用性则意味着不同生产厂家的性能类似的设备可进行互换而实现互用。

(3) 智能化与功能自治性

现场总线系统将传感测量、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,并可随时诊断设备的运行状态。

(4) 系统结构的高度分散性

由于现场设备本身可完成自动控制的基本功能,使得现场总线已构成一种新的全分布式控制系统的体系结构。从根本上改变了现有集散控制系统(DCS)集中与分散相结合的集散控制系统体系,简化了系统结构,提高了可靠性。

(5) 对现场环境的适应性

工作在现场设备前端,作为工厂网络底层的现场总线,是专为在现场环境工作而设计的,它可支持双绞线、同轴电缆、光缆、射频、红外线、电力线等,具有较强的抗干扰能力,能采用两线制实现送电与通信,并可满足本质安全防爆要求等。

1.1.2 现场总线技术与过程控制

工业过程控制已经历了一个多世纪的发展,20 世纪六七十年代模拟仪表控制系统在工业控制中已占主导地位。其明显的缺点是模拟信号精度低,易受干扰。20 世纪七八十年代集中式数字控制系统在工业控制中占主导地位。采用单片机、PLC 作为控制器使得在控制器内部传输的是数字信号,克服了模拟仪表控制系统中模拟信号精度低的缺陷,提高了系统的抗干扰能力。集中式数字控制系统的优点是易于根据全局情况进行控制、计算和判断,在控制方式、控制时机的选择上可以统一调度和安排。不足的是,对控制器本身要求很高,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将急剧下降。随后集散控制系统(DCS)在工业控制中占主导地位。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,若干台下位机分散到现场,实现分布式控制,上位机与下位机之间通过控制网络互联实现相互之间的信息传递。这种分布式的控制体系结构有力地克服了集中式数字控制系统中对控制器处理能力和可靠性要求高的缺陷。在集散控制系统中,分布式控制思想的实现得益于网络技术的发展和运用。遗憾的是,不同的 DCS 厂家为达到垄断经营的目的而对其控制通信网络采用各自专用的封闭形式,不同厂家的 DCS 之间以及 DCS 与上层 Intranet、Internet 信息网络之间难以实现网络

互联和信息共享。因此,DCS从上述方面而言实质上是一种封闭或专用的不具互操作性的分布式控制系统。而且当时DCS造价较高,所以用户对网络控制系统提出了开放性、标准统一和降低成本的迫切要求。

为了实现系统的开放,也为了使系统底层信息获取更加便捷,现场总线技术得以迅速发展,由此构成的现场总线控制系统(FCS)也是顺应这一潮流而诞生了。现场总线控制系统用现场总线这一开放的、可互操作的网络将现场各控制器及仪表设备互连,同时控制功能彻底下放到现场,降低了安装成本和维护费用。因此,现场总线控制系统实质上是一种开放的、具有互可操作性的、彻底分散的分布式控制系统。

对于一个控制系统,无论采用何种方式,需要处理的控制信息总是相同的,而不同的控制系统处理控制信息的位置和方式是不同的。传统控制系统往往把信息集中处理,而现场总线控制系统却可以把大量的控制信息交由智能仪表在现场处理,实现了信息处理的现场化,真正达到了分散控制的要求。可以说,现场总线既是一种通信网络,也是一种控制系统。作为通信网络,现场总线与日常用于图文传送的网络不同,它所传送的是开关电源或启闭阀门的指令与数据。作为控制系统,现场总线与传统的集中控制不同,它是真正意义上的分散控制系统。由于现场总线顺应了工业控制系统向分散化、网络化、智能化发展的方向,它一经产生便成为全球工业自动化技术的热点,受到全世界的普遍关注。现场总线技术的出现,使全世界各国在自动化领域的大发展中站到了同一条起跑线上。该项技术的开发可带动整个工业控制、楼宇自动化、仪表制造、自动控制和计算机软硬件等行业的技术更新和产品换代。

采用现场总线技术实现工业过程控制有其明显的优越性。其一是节省一次性投资。由于现场总线的投资门槛低,可扩展性好,用户可根据需要灵活调整投资方案,逐步投入,滚动发展,因此可降低一次性投资,投资风险较小。此外,现场总线控制系统中分散在现场的智能设备能直接执行多种传感控制报警和计算功能,因而可以减少变送器的数量,不再需要单独的调节器和计算单元等,也不再需要传统控制系统中的信号调理、转换、隔离等功能单元及其复杂接线,还可以用工控机作为操作站,从而节省了大量硬件投资,控制室的占地面积也可以大大减少。其二是节省安装费用。现场总线系统的接线十分简单,一对双绞线或一条电缆上通常可挂接多个设备,因而电缆、端子、槽盒、桥架的用量大大减少,连线设计与接头校对的工作量也大大减少。当需要增加现场控制设备时,无须增设新的电缆,可就近连接在原有的电缆上,既节省了投资,也减少了设计、安装的工作量。据有关资料介绍,现场总线系统比传统控制系统可节省安装费用60%以上。其三是节省维护费用。现场总线控制系统结构清楚、连线简单,从而大大减少了维护工作量,同时由于现场控制设备具有自我诊断与简单故障处理的能力,并自动将诊断维护信息上报控制室,维修人员可以方便地查询所有设备的运行、维护和诊断信息,加大了预防性维护的比例,提高了故障分析与排除的速度,缩短了维护停工时间,节省了维护费用。其四是提高了控制精度与可靠性。由于现场总线设备的智能化和数字化,可将传送过程的误差降至最低,因此控制精度只取决于传感器的灵敏度和执行器的精确度,系统控制精度大大提高。同时,由于系统的结构简化,设备与连线减少,现场设备内部功能加强,减少了信号的往返传输,系统工作可靠性大大提高。其五是提高了用户的选择性。由于现场总线的开放性,使用户可以对各设备厂商的产品任意进行选择并组成系统,不必考虑接口是否匹配的问题,从而使系统集成过程中的主动权牢牢掌握在

用户手中。

到目前为止,国际上有几十种现场总线产品,但没有任何一种现场总线能覆盖所有的应用面。按现场总线传输数据的大小,通常将现场总线分为三类,一类是传感器总线(Sensor Bus),属于位传输;一类是设备总线(Device Bus),属于字节传输;一类是简称现场总线,属于数据流传输。下面列举几种现场总线产品。

(1) 基金会现场总线

基金会现场总线(Foundation Fieldbus, FF),这是在过程自动化领域得到广泛支持和具有良好发展前景的技术。其前身是以美国 Fisher-Rousemount(费希尔-罗斯蒙特)公司为首,联合 Foxboro(福克斯波罗)、Yakagawa、ABB、Siemens 等 80 多家公司制定的 ISP 协议和以 Honeywell 公司为首,联合 150 家公司制定的 WordFIP 协议。屈于用户的压力,这两大集团于 1994 年 9 月合并,成立了现场总线基金会,致力于开发出国际上统一的现场总线协议。

(2) LonWorks 现场总线

LonWorks 是又一具有强劲实力的现场总线技术,它是由美国 Echelon(埃斯朗)公司推出并由它们与 Motorola(摩托罗拉)、Toshiba(东芝)、Hitachi(日立)公司共同倡导,于 1990 年正式公布而形成的。

(3) Profibus 现场总线

Profibus 是作为德国国家标准 DIN 19245 和欧洲标准 prEN 50170 的现场总线。ISO/OSI 模型也是它的参考模型。由 Profibus-DP、Profibus-FMS、Profibus-PA 组成了 Profibus 系列。DP 型用于分散外设间的高速传输,适合于加工自动化领域的应用;FMS 意为现场信息规范,适用于纺织、楼宇自动化、可编程控制器、低压开关等一般自动化;PA 型则是用于过程自动化的总线类型,它遵从 IEC 1158-2 标准。该项技术是由以西门子公司为主的十几家德国公司、研究所共同推出的。

(4) CAN 现场总线

CAN 是控制网络 Control Area Network 的简称,最早由德国 Bosch(博世)公司推出,用于汽车内部测量与执行部件之间的数据通信。其总线规范现已被 ISO(国际标准化组织)制定为国际标准,得到了 Motorola、Intel(英特尔)、Philips(飞利浦)、Siemens、NEC(日电)等公司的支持,已广泛应用在离散控制领域。

(5) HART 现场总线

HART 是 Highway Addressable Remote Transducer 的缩写。最早由 Rosemount 公司开发并得到 80 多家著名仪表公司的支持,于 1993 年成立了 HART 通信基金会。这种被称为可寻址远程传感高速通道的开放通信协议,其特点是在现有模拟信号传输线上实现数字通信,属于模拟系统向数字系统转变过程中工业过程控制的过渡性产品,因而在当时的过渡时期具有较强的市场竞争能力,得到了较好的发展。

(6) RS-485 总线

尽管 RS-485 不能称为现场总线,但是作为现场总线的鼻祖,还有许多设备继续沿用这种通信协议。采用 RS-485 通信具有设备简单、成本低等优势,仍有一定的生命力。以 RS-485 为基础的 OPTO-22 命令集等也在许多系统中得到了广泛的应用。

现场总线技术虽已经历了几十年的发展,但至今在工业过程控制领域现场总线系统仍

然有着较强的生命力。现场总线技术的发展趋势主要体现为两个方面：一个是低速现场总线领域的继续发展和完善；另一个是高速现场总线技术的发展。

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慢的过程控制。因此,在速率要求较低的控制领域,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。今后现场总线技术如何发展、如何统一,是所有生产厂商和用户十分关心的问题。

高速现场总线主要应用于控制网内的互连,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需的。这一领域还比较薄弱。因此,高速现场总线的设计、开发将是竞争十分激烈的领域,这也将是现场总线技术实现统一的重要机会。而选择什么样的网络技术作为高速现场总线的整体框架将是其首要内容。

总体说来,过程控制系统与过程控制设备将朝着现场总线体系结构的方向前进,这一发展趋势是肯定的。不论是工业过程控制还是其他领域的控制,如汽车、高速列车或航天飞行器,出于空间、重量、安装或维护等方面的考虑,现场总线技术的应用都有着极大的优势。既然是总线,就要向着趋于开放统一的方向发展,成为大家都遵守的标准规范,但由于这一技术所涉及的应用领域十分广泛,几乎覆盖了所有连续、离散工业领域,如过程自动化、制造加工自动化、楼宇自动化、家庭自动化等。上面介绍的几种现场总线技术均具有自己的特点,已在不同应用领域形成了自己的优势。加上商业利益的驱使,它们都正在十分激烈的市场竞争中求得发展。现场总线技术的兴起,开辟了工厂底层网络的新天地。它将促进企业网络的快速发展,为企业带来新的效益,因而会得到广泛的应用,并推动自动化相关行业的发展。

1.2 过程控制基础知识

1.2.1 工业过程控制基础

现场总线的重要应用领域就是工业过程控制,本节拟对工业过程控制基础知识进行概要回顾,系统理解过程控制的概念则需参阅有关过程控制的相关书籍。

不论是工业过程控制还是其他对象的控制,都涉及控制参数的检测、对偏差变量的运算、控制作用的执行等环节。对控制参数的检测涉及传感器或检测仪表,对偏差变量的运算涉及控制器,对控制作用的执行则涉及执行机构。将传感器、控制器、执行机构和对象等连在一起,就构成了控制回路。作为过程控制的一个典型的例子是液位控制,如图1-3所示。通常将这种控制系统的构成以框图来表达,如图1-4所示。在图1-4中可以看出,控制回路的硬件一般包括被控对象、对被控参数进行检测的传感器或检测仪表、控制器、执行器,以及一些其他的辅助仪表或装置。而在一个控制回路中,传递的信号或变量一般包括被测变量 y 、给定值(也称参考输入) r 、偏差 e 、控制变量(也称操纵变量) u 等。

过程控制中控制的效果是由控制指标来评价的,控制指标要能反映控制的准确性、控制的稳定性和控制的快速性。基于这些要求的控制指标通常借助于系统阶跃响应曲线描述,控制指标主要包括上升时间、过渡时间、峰值时间、超调量和稳态误差等,如图1-5所示。

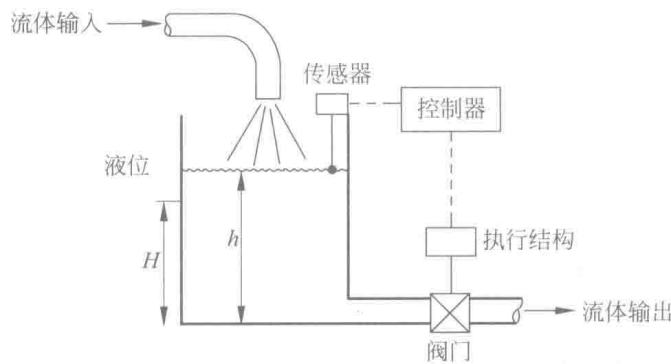


图 1-3 液位控制系统图

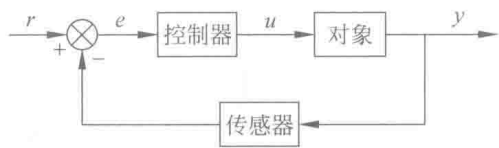


图 1-4 控制系统框图

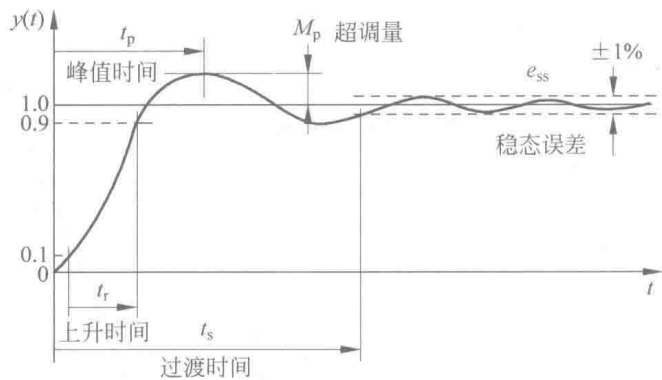


图 1-5 控制系统阶跃响应曲线图

由于被控对象千差万别,要将系统控制在指标要求以内,需要对控制器进行设计。控制器的设计就是按上述要求来找出控制算法的表达。控制器设计的方法包括根轨迹法、频率响应法、状态空间法和解析法等。这些设计方法都需要对对象建立数学模型。对于一般对象所设计的控制算法常包括比例、超前、滞后等。将比例、超前、滞后几种算法组合在一起就构成 PID 算法。

1.2.2 基本 PID 控制算法

PID(比例、积分、微分)控制算法是工业过程控制中最常用的控制规律。这种控制规律的时域表达为

$$u(t) = K_p \left[e(t) + \frac{1}{T_i} \int e(t) dt + T_d \frac{de(t)}{dt} \right] \tag{1-1}$$

式中： $u(t)$ 为控制器输出； $e(t)$ 为偏差输入； K_p 为比例系数； T_i 为积分时间常数； T_d 为微

分时间常数。

PID 控制规律的传递函数表达式为

$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right) \quad (1-2)$$

PID 控制器的比例作用可改变系统的调节作用,提高控制精度。加大系统的增益会使系统的调节作用增强,但也会使系统的稳定性下降。

PID 控制器的积分作用是为了消除稳态误差,或者说可使系统的稳态性能得到提高,但同样会使控制系统的稳定性下降。一般积分作用都与比例作用配合使用。

PID 控制器的微分作用是增加系统的稳定性和加快系统的响应。一般微分作用也必须与比例作用配合使用。值得注意的是,微分作用对噪声也有放大作用。

PID 控制器的结构如图 1-6 所示。

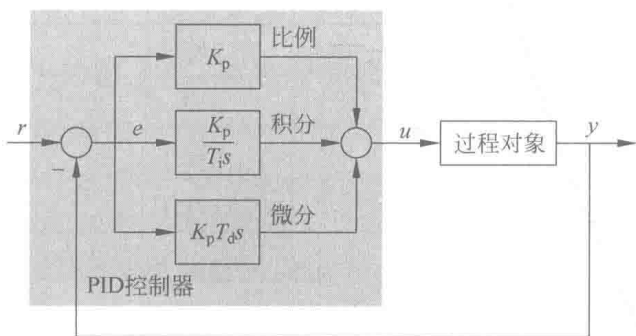


图 1-6 PID 控制器结构图

1.2.3 PID 参数的整定

对不同的对象模型或不同的指标要求,PID 控制参数(K_p 、 T_i 和 T_d)是不同的。选择或者说整定 PID 参数的过程实际上就是 PID 控制器的设计。设计可以基于对象数学模型,也可以不基于对象数学模型。可以采样根轨迹法、频率响应法、解析法等进行设计,也可以采用响应曲线法、极限灵敏度法或衰减法等进行设计。根轨迹法、频率响应法和解析法设计是在 s 域中进行,这些设计方法必须基于对象的数学模型;而响应曲线法、极限灵敏度法与衰减法设计则是在时域中进行实验,再对 s 域中的参数进行近似,这些设计方法一般不需要参考对象的数学模型。

1. s 域中 PID 控制器设计方法

在 s 域中进行 PID 控制器设计,需将式(1-2)改写为

$$\begin{aligned} \frac{U(s)}{E(s)} &= K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right) \\ &= K_c \frac{(s + A)^2}{s} \end{aligned} \quad (1-3)$$

式中: $K_p = 2AK_c$; $T_i = \frac{2}{A}$; $T_d = \frac{1}{2A}$ 。

式(1-3)实际上就是极点配在 $s=0$,而在 $s=A$ 处配置双零点的控制器,用根轨迹方法或频率响应方法都非常容易进行设计。

解析方法设计控制器只需将设计指标表达成式(1-2)的形式即可得出。关于根轨迹法、