

现代测试与控制丛书

过程控制与 Simulink应用

王正林 郭阳宽 编著 汪仁先 审




应用

设计

Simulink

整定

<http://www.phei.com.cn>

 电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

现代测试与控制丛书

过程控制与 Simulink 应用

王正林 郭阳宽 编著
汪仁先 审

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书从应用角度出发,系统地介绍过程控制系统与 Simulink 的应用,并结合 Simulink 的使用,通过典型样例全面阐述过程控制系统的基本原理、应用以及过程控制系统的设计与整定。全书共分 10 章,包括过程控制系统概述、过程控制系统数学模型、PID 控制、串级控制系统、比值控制系统、前馈控制系统、纯滞后系统、解耦控制系统、典型生产过程控制系统、先进过程控制系统等。各章通过精心设计的实例来帮助读者理解和掌握过程控制系统的原理、应用,以及采用 Simulink 进行过程控制系统的分析、设计与整定。

本书可作为过程控制、控制工程、测控技术、机电一体化以及计算机应用专业高年级学生及研究生的教学参考书,也可供在生产过程自动化、测控、计算机应用、机电一体化和电气自动化等领域工作的工程技术人员和研究人员参考。

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

过程控制与 Simulink 应用 / 王正林, 郭阳宽编著. —北京: 电子工业出版社, 2006.7

(现代测试与控制丛书)

ISBN 7-121-02848-4

I. 过… II. ①王… ②郭… III. 计算机辅助计算—软件包, Simulink—应用—过程控制—自动控制系
统 IV. TP273

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 073390 号

责任编辑: 高买花 特约编辑: 陈宁辉

印 刷: 北京市海淀区四季青印刷厂

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

经 销: 各地新华书店

开 本: 787×1 092 1/16 印张: 17.75 字数: 454 千字

印 次: 2006 年 7 月第 1 次印刷

印 数: 5 000 册 定价: 29.00 元

凡购买电子工业出版社的图书,如有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系。联系电话:(010) 68279077。质量投诉请发邮件至 zllts@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

出版说明

测试与控制（以下简称测控）技术是光、电、自动控制、计算机与信息技术多学科相互融合和渗透而形成的一门高新技术密集型综合学科，目前已成为 21 世纪关键的信息技术之一。随着光、机、电、算、生、化、医、材料等领域新技术的不断涌现，以及科学技术尤其电子信息技术的飞速发展，测控技术将迎来创新发展的新机遇，微型化、集成化、智能化、虚拟化和网络化成为以计算机为核心的现代测控技术的一个发展趋势。

随着测控技术的飞速发展，以及知识更新的速度日益加快，社会对综合素质高的测控人才的需求不断加大，各测控技术开发单位、科研院所的研发人员都急需一套针对性强、具有实际指导意义的现代测试与控制技术类书籍；各高等院校相关专业的本科生、研究生也迫切希望学习、掌握现代测控技术及其应用，以推动测控技术在各领域的广泛应用和快速发展。

《现代测试与控制丛书》正是针对当前技术与市场需求，由国内站在测控技术前沿并有实践应用经验的专家和学者，以实用技术为主线，理论联系实际，将他们在理论研究与实践工作中积累的大量经验和体会有机地融为一体，以丛书的形式奉献给广大读者！本套丛书立足现代测控技术的发展趋势及其主要应用领域，将技术热点与实践应用紧密结合，以实际应用为主线，围绕现代测控技术基础理论、实践应用、发展趋势等方面进行深入浅出的讲解和论述。

读者群定位于高等院校测控相关领域的学生，科研开发及设计人员等，可作为测控领域学习、开发人员的参考资料，也可作为高等院校相关专业师生的教学参考书。

本套丛书的出版得到了业界许多专家、学者的鼎力相助，对此表示衷心的感谢！同时，热切欢迎广大读者提出宝贵意见，或者推荐更多优秀选题（gmholife@hotmail.com）。

电子工业出版社
2006 年 5 月

前 言

过程控制是控制理论、生产工艺、计算机技术和仪器仪表等知识相结合的一门综合性应用学科，理论性、综合性和实践性都很强。过程控制系统的应用、设计与整定是过程控制技术的精髓部分，需要理论知识与实际应用相结合，在理论的基础上不断进行试验。

Simulink 是著名的动态系统仿真工具，在各个领域，尤其是控制领域应用广泛。Simulink 能够直观、快捷地构建过程控制系统的方块图模型，并在此基础上进行仿真分析、系统设计和过程参数整定，从而深化对过程控制系统的理解，并快速完成系统的分析、设计与整定。

本书从介绍过程控制系统的原理、应用、设计与整定着手，着重讲述简单而具有代表性的 Simulink 系统实例，是作者多年从事科研和教学工作的结晶，同时也创新了国内此类书籍的写法。

全书共分 10 章，详尽论述了过程控制系统的分析、设计与整定方法，包括过程控制系统概述、过程控制系统数学模型、PID 控制、串级控制系统、比值控制系统、前馈控制系统、纯滞后系统、解耦控制系统、典型生产过程控制系统、先进过程控制系统等内容。每章都通过精心设计的 Simulink 应用实例来帮助读者加深对过程控制系统的理解并掌握 Simulink 的应用。

本书内容深入浅出，各部分内容既相互联系又相互独立，读者可根据自己需要选择学习。本书适用于过程控制、控制工程、测控技术、机电一体化以及计算机应用专业的大学本、专科高年级学生及研究生作为教学参考书，也可供从事生产过程自动化、测控、计算机应用、机电一体化和电气自动化领域工作的工程技术人员和研究人员参考。

汪仁先教授在百忙中审阅了全书，提出了诸多宝贵的修改意见，在此表示衷心感谢。同时，对孙一康教授、李庆祥教授、王修岩教授给予的指导与帮助表示深深的感谢；对陈国顺博士、王胜开博士、李玉和博士、李颖晖女士的帮助一并表示感谢；对郭阳宽博士所在的北京信息科技大学的支持表示感谢。

由于时间仓促，作者水平和经验有限，书中疏漏之处在所难免，敬请读者指正。

作 者

2006 年 3 月

目 录

第 1 章 过程控制系统概述	(1)
1.1 引言	(1)
1.2 过程控制系统的发展	(1)
1.2.1 基地式仪表控制系统	(2)
1.2.2 单元组合式仪表控制系统	(2)
1.2.3 计算机集中式数字控制系统	(4)
1.2.4 集散式控制系统 (DCS)	(5)
1.2.5 现场总线控制系统 (FCS)	(8)
1.2.6 计算机综合自动化系统 (CIPS)	(14)
1.2.7 计算机集成制造系统 (CIMS)	(15)
1.3 过程控制系统的组成	(17)
1.3.1 过程控制系统的组成	(17)
1.3.2 过程控制系统的特点	(20)
1.3.3 过程控制系统的分类	(20)
1.4 过程控制系统的性能指标	(21)
1.4.1 过渡过程性能指标	(21)
1.4.2 误差性能指标	(22)
1.5 过程控制理论的发展现状	(23)
1.6 过程控制系统仿真	(25)
1.6.1 计算机仿真基本概念	(25)
1.6.2 仿真在过程控制中的应用	(26)
1.6.3 Simulink 与过程控制系统仿真	(28)
第 2 章 过程控制系统数学模型	(31)
2.1 引言	(31)
2.2 过程模型概述	(31)
2.2.1 过程建模的目的和要求	(31)
2.2.2 过程模型	(32)
2.2.3 自平衡过程与非自平衡过程	(33)
2.3 过程控制系统建模	(33)
2.3.1 过程建模的方法	(33)
2.3.2 阶跃响应法建模	(34)
2.3.3 过程模型的特点	(39)
2.4 单容过程数学模型	(40)
2.4.1 无自平衡单容过程	(40)
2.4.2 自平衡单容过程	(41)

2.5	多容过程数学模型	(42)
2.5.1	有相互影响的双容过程	(42)
2.5.2	无相互影响的多容过程	(44)
2.6	模型参数对控制性能的影响	(45)
2.6.1	静态增益的影响	(46)
2.6.2	时间常数的影响	(46)
2.6.3	时滞的影响	(47)
2.7	常见工业过程模型特性	(47)
2.7.1	温度过程模型特性	(47)
2.7.2	流量过程模型特性	(48)
2.7.3	压力过程模型特性	(50)
第3章	PID 控制	(52)
3.1	引言	(52)
3.2	PID 控制的基本原理	(52)
3.2.1	PID 控制概述	(52)
3.2.2	比例 (P) 控制	(53)
3.2.3	比例微分 (PD) 控制	(55)
3.2.4	积分 (I) 控制	(57)
3.2.5	比例积分 (PI) 控制	(57)
3.2.6	比例积分微分 (PID) 控制	(59)
3.3	数字 PID 控制	(59)
3.3.1	理想微分 PID 控制	(59)
3.3.2	实际微分 PID 控制	(60)
3.4	改进的数字 PID 控制	(61)
3.4.1	积分项改进的数字 PID 控制	(61)
3.4.2	数字变 PID 控制	(61)
3.4.3	Ziegler-Nichols 整定方法	(62)
3.4.4	临界比例度法	(67)
3.4.5	衰减曲线法	(71)
第4章	串级控制系统	(76)
4.1	引言	(76)
4.2	串级控制系统概述	(76)
4.2.1	基本概念	(76)
4.2.2	基本组成	(77)
4.2.3	串级控制的特点	(79)
4.3	串级控制系统性能分析	(80)
4.3.1	抗扰性能	(80)
4.3.2	动态性能	(81)

4.3.3	工作频率	(83)
4.3.4	自适应能力	(85)
4.4	串级控制系统设计	(86)
4.4.1	副回路选择	(86)
4.4.2	主副控制器的设计	(88)
4.4.3	抗积分饱和的措施	(90)
4.5	串级控制系统控制器参数整定	(91)
4.5.1	逐次逼近法	(91)
4.5.2	两步法	(91)
4.5.3	一步法	(91)
4.6	串级控制系统仿真研究	(92)
4.6.1	串级控制与单回路控制的比较仿真	(92)
4.6.2	串级控制系统的参数整定仿真	(96)
4.6.3	串级控制系统设计仿真	(99)
第5章	比值控制系统	(102)
5.1	引言	(102)
5.2	比值控制系统概述	(102)
5.2.1	比值控制系统的特点	(103)
5.2.2	比值控制系统的类型	(103)
5.2.3	比值系数的计算	(110)
5.3	比值控制系统的设计	(112)
5.3.1	比值控制系统的选用原则	(112)
5.3.2	主从物料的选择	(112)
5.3.3	比值控制系统的工程整定	(113)
5.4	比值控制系统的仿真研究	(114)
5.4.1	单闭环比值控制系统仿真	(114)
5.4.2	双闭环比值控制系统仿真	(118)
5.4.3	变比值控制系统仿真	(122)
第6章	前馈控制系统	(127)
6.1	引言	(127)
6.2	前馈控制系统概述	(127)
6.2.1	前馈控制系统的结构	(127)
6.2.2	前馈控制系统的特点	(129)
6.2.3	前馈控制系统的类型	(130)
6.3	前馈控制系统的设计	(137)
6.3.1	前馈控制系统的选用原则	(137)
6.3.2	前馈控制系统的工程整定	(138)
6.4	前馈控制系统仿真研究	(144)

6.4.1	静态前馈控制系统仿真	(144)
6.4.2	动态前馈控制系统仿真	(148)
6.4.3	前馈-反馈复合控制系统仿真	(152)
6.4.4	前馈-串级复合控制系统仿真	(159)
第 7 章	纯滞后系统	(163)
7.1	引言	(163)
7.2	纯滞后系统概述	(163)
7.3	纯滞后系统的设计	(166)
7.3.1	常规控制系统	(166)
7.3.2	史密斯补偿控制	(168)
7.4	纯滞后系统仿真	(176)
7.4.1	微分先行控制仿真	(176)
7.4.2	中间微分控制仿真	(182)
7.4.3	史密斯补偿控制仿真	(184)
7.4.4	增益自适应补偿控制仿真	(188)
7.4.5	改进型史密斯补偿控制仿真	(193)
第 8 章	解耦控制系统	(196)
8.1	引言	(196)
8.2	解耦控制系统	(196)
8.2.1	解耦控制系统的优点	(197)
8.2.2	相对增益	(197)
8.3	解耦控制系统设计	(202)
8.3.1	解耦控制系统分类及解耦方法	(202)
8.3.2	解耦控制方案	(203)
8.3.3	解耦控制中的问题	(206)
8.4	解耦控制系统仿真	(208)
8.4.1	前馈补偿解耦控制	(208)
8.4.2	反馈补偿解耦控制	(213)
8.4.3	对角阵解耦控制	(217)
第 9 章	典型生产过程控制系统	(225)
9.1	引言	(225)
9.2	燃烧过程控制系统	(225)
9.2.1	燃烧过程控制系统概述	(225)
9.2.2	燃烧过程控制系统 Simulink 仿真	(226)
9.3	pH 控制系统	(233)
9.3.1	pH 控制系统概述	(233)
9.3.2	pH 控制系统 Simulink 仿真	(235)
9.4	精馏控制系统	(242)

9.4.1	精馏控制系统概述	(242)
9.4.2	精馏工艺的基本控制方案	(243)
9.4.3	精馏控制系统 Simulink 仿真	(246)
第 10 章	先进过程控制系统	(252)
10.1	引言	(252)
10.2	先进过程控制概述	(252)
10.3	自适应控制	(252)
10.3.1	模型参考自适应控制	(253)
10.3.2	自校正调节器	(254)
10.4	预测控制	(255)
10.4.1	预测模型	(256)
10.4.2	滚动优化	(257)
10.4.3	反馈校正	(257)
10.5	智能控制	(258)
10.5.1	专家控制	(259)
10.5.2	模糊控制	(260)
10.5.3	人工神经网络控制	(263)
参考文献	(269)

第 1 章 过程控制系统概述

1.1 引 言

本章介绍过程控制系统的基本概念，过程控制系统的发展、结构、特点，过程控制理论的发展现状以及过程控制系统仿真等基础知识。通过本章，读者对过程控制系统的发展现状以及本书的主要内容能有初步的认识。

1.2 过程控制系统的发展

自动化研究的是如何通过各种技术工具和系统（包括计算机）延伸人的信息获取、处理和决策控制的功能，提高生产能力、生产水平和劳动生产率，并不断提高人和机器交互作用的水平，把人从繁重的、可程序化的工作中解放出来以从事更具创造性的劳动。

自从 20 世纪 30 年代以来，自动化技术取得了惊人的成就，在理论发展和工业生产中起到了关键作用。自动化技术主要有以下两个方面：

- 用自动化机械代替人工的动力方面的自动化；
- 在生产过程和业务处理过程中，进行测量、计算、控制等，这是过程方面的自动化，实际上，过程自动化的水平和程度已成为衡量工业企业现代化水平的一个重要标志。

过程自动控制技术是自动化技术的一个重要分支，在工业领域应用最为广泛。从广义上讲，可把工业过程控制理解为从原料的投入一直到成品产出的整个生产过程。所谓过程自动化，就是利用控制仪表、计算机、通信网络等技术工具，自动获取各过程变量值的信息，并对影响过程状况变量进行自动控制或操作，以达到提高经济效益和劳动生产率、节约能源、减少污染和安全生产等目的。因此，工业过程自动化是通过自动化仪表、自动化技术与生产工艺及设备的有机结合来实现的。

随着过程控制技术应用范围的扩大和应用层次的深入，以及控制理论与技术的进步和自动化仪表技术的发展，过程控制技术经历了一个由简单到复杂，从低级到高级并日趋完善的过程。过程控制系统的发展大致经历了以下阶段：基地式仪表控制系统、单元组合式仪表控制系统、计算机集中式数字控制系统、集散式控制系统（DCS）、现场总线控制系统（FCS）、计算机综合自动化系统（CIPS）、流程工业计算机集成制造系统（CIMS）。

1.2.1 基地式仪表控制系统

基地式仪表控制系统始于 20 世纪 40 年代,是最初的工业自动化控制系统,也是早期的主要生产过程控制系统。当时由于石油、化工、电力等工业对自动化的需求,出现了将检测、记录、调节仪装在一个表壳内的基地式自动化仪表。

基地式自动化仪表的结构特点是以指示仪表和记录仪表为中心,附加一些线路来完成控制任务。这种指示和记录仪表是电子电位差计、电子平衡电桥及动圈仪表等,可完成简单的就地操作模式,实现现场的单回路控制,适用于单机自动控制,控制方法为 PID 调节规律,进行分析和设计的理论基础是以频率法和根轨迹法为主体的古典控制论。这时控制理论初步形成,但还没有控制室的概念。采用这种基地式仪表具有简单、可靠和经济等优点。

典型的基地式仪表如 KF 系列气动基地式仪表,它直接安装于生产现场,集检测、变送、显示、控制于一体,而不必把信号引入主控室,以压缩空气为动力源,其过程控制方式就是将被测参数(如温度、压力、液位等)由传感器变成统一的标准信号送入调节器,在调节器中与给定值进行比较,然后把比较出的差值经 PID 运算后送到执行机构,改变进给量以达到自动控制的目的,其工作原理示意如图 1.1 所示。

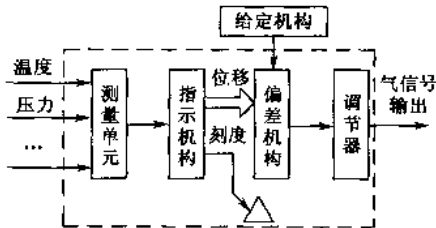


图 1.1 KF 系列仪表工作原理示意图

当仪表工作时,测量单元将位移信号送给指示机构做指针刻度指示,指示机构将位移信号变成指针转角,同时,又将与指针成比例的位移输送给调节器的偏差机构,偏差机构将此位移与给定机构给出的位移进行比较,输出一个差值位移至调节机构。此差值位移称偏差位移,调节机构就将这个偏差位移按照 PID 调节规律变成气信号后送给调节阀,改变进气量,这就是 KF 系列仪表的信号转换和信号传递过程。

1.2.2 单元组合式仪表控制系统

虽然基地式仪表控制系统简单实用,直接与被控对象相互作用,但它最大的问题是仪表必须分散安装在生产设备需要实施控制的地方,对大型设备而言,观察、安装仪表是困难的甚至是不可能的,此外,基地式仪表控制系统功能有限,难以实现复杂的控制功能,更主要的是基地式仪表是把控制系统中各种功能的机构都汇集在一台仪表中,当其中某一功能结构损坏时会使整套装置都不能工作。因此,单元组合式仪表应运而生。

单元组合式仪表是根据它所担负的功能分解成不同的单元,每一单元均为一种仪表,不同单元之间采用统一的传输信号进行连接,因此,当控制系统中每一单元仪表损坏时,

只需更换被损坏的单元而其他单元照常使用。

单元组合式仪表主要有两大类：气动单元组合式仪表和电动单元组合式仪表。

1. 气动单元组合式仪表

气动单元组合式仪表以经过干燥净化的压缩空气作为动力，并以气压传递现场信号，其规范为 20~100kPa。

气动单元组合式仪表主要有 7 种单元，分别是变送单元、调节单元、显示单元、计算单元、给定单元、辅助单元和转换单元。这些单元经过恰当的连接及组合，就可以实现较复杂、规模较大的控制。气动单元组合仪表具有安全防爆性能，结构简单，安装维护方便，有防尘、防水、防寒，不受电磁场干扰，可靠性高，价格便宜等优越性。

气动单元组合式仪表的传输距离有限，并且气动仪表对气源供气的可靠性和纯净度要求又比较严格，需设置专用的气源（无油压缩机站），再加上多个气动信号的叠加和处理比较麻烦，随着工业生产规模的扩大，它的诸多不便逐步显现出来，无法满足工业生产需要，于是出现了电动单元组合式仪表。

2. 电动单元组合式仪表

20 世纪 50 年代末，随着电子技术的发展，出现了电动单元组合式仪表。电动单元组合式仪表由直流电源提供动力并以直流电信号（电流或电压）传递现场信号的值，其结构特点是：根据自动检测及调节系统中各组成环节的不同功能和实用要求，将整套仪表划分为能独立实现一定功能的若干单元，各单元之间采用统一的标准信号（信号规范），由这些单元经过不同的组合构成多种多样的、复杂程度不同的自动控制系统。

信号规范有两种，一种为 0~10mA DC，一种为 4~20mA DC。

电动单元组合式仪表主要有 8 种单元，分别是变送单元、调节单元、显示单元、计算单元、给定单元、辅助单元、转换单元和执行单元。

我国的电动单元组合式仪表分为 DDZ I 型、DDZ II 型和 DDZ III 型仪表：

- DDZ I 型仪表主要采用电子管，信号为 0~10mA DC；
- DDZ II 型仪表采用晶体管分立元件，信号为 0~10mA DC；
- DDZ III 型仪表采用集成运算放大器，采用国际统一的信号 4~20mA DC，其性能高于 DDZ II 型仪表。

不论是气动单元组合式仪表还是电动单元组合式仪表，其调节、计算单元都采用模拟技术和经典控制理论，实现了对生产过程的集中式管理。这是一个十分重要的阶段，它的出现不但表征了电气自动控制时代的到来，而且控制室的设立、控制功能分离的模式一直沿用至今。电动单元组合式仪表控制系统地统治了整个自动控制领域达 25 年之久。此时的控制理论有了重大的发展，三大控制论的确立奠定了现代控制的基础。

但模拟技术的方法有较大的局限性：

- 计算精度不高，其精度受元件参数的精度或加工精度的影响较大；
- 随着时间的推移、环境的变化和机件的磨损，各种参数也会发生变化，造成控制精度的下降；

- 以模拟方式实现的计算，其动态范围受到较大的限制。

此外，在控制性能上，单元组合式仪表控制系统一般只能实现简单参数的 PID 调节和简单的串级、前馈控制，无法实现如自适应控制、最优控制等复杂的控制形式，难于实现全厂各级之间的通信联系和全厂的综合管理；而且随着生产规模的扩大，中央控制室仪表盘愈来愈大，难于实现高度集中管理和操作。随着微处理器的出现和数字技术的发展，以数字技术为基础的数字控制逐步占据了控制系统的主要地位，以数字控制器为基础的计算机控制系统渐渐发展起来了。

1.2.3 计算机集中式数字控制系统

随着生产过程的强化，参数间关联性增加，要求控制系统具有多种多样的控制功能并能灵活、集中地进行操作以及提高控制精度。

1962 年，美国首先在火电厂将计算机直接控制系统应用于单元机组的自动启停和自动调节，成功地实现生产过程的计算机闭环控制；同年 ICI 公司安装了计算机控制系统，它替代全部模拟控制仪表，即模拟技术由数字技术来替代，而系统功能不变。这是一种崭新的控制技术，是将数字技术引入工业自动化过程控制的初步尝试。它经历了计算机直接控制（Direct Digital Control, DDC）系统、计算机集中监督控制（Supervisory Computer Control, SCC）系统两个主要阶段。

1. DDC 系统

典型的 DDC 系统如图 1.2 所示。

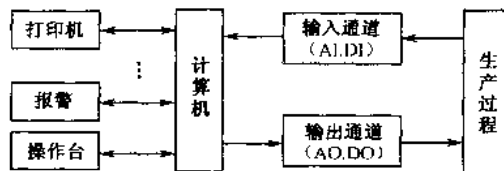


图 1.2 DDC 系统结构示意图

DDC 采用一台计算机配以模数、数模转换器等输入输出设备，从生产中获得信息，按照预先规定的控制算法计算控制量，并通过输出通道直接作用在执行机构上，实现对生产过程的闭环控制。

现场传输信号大部分沿用 4~20mA 的电流模拟信号，但内部信号的传输采用二进制格式。就系统结构基本原理而言，DDC 与常规模拟控制有很大的相似性。但是这种控制系统充分发挥了计算机的特长，是一种多目的、多任务的控制系统，一台计算机可替代多台模拟控制器。它不仅可以实现简单的 PID 控制，而且能实现如多变量解耦控制、最优控制、自适应控制等复杂的运算，控制规律中的参数变化范围宽，容易实现无扰切换。

DDC 的特点是结构紧凑、轻便灵活、操作方便，但其抗干扰能力差、可靠性差。

2. SCC 系统

典型的 SCC 系统如图 1.3 所示。

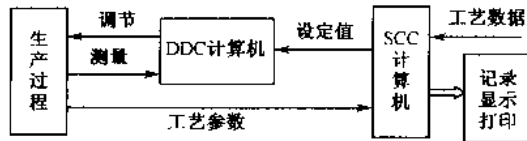


图 1.3 SCC 系统结构示意图

SCC 系统是将操作指导和 DDC 综合起来的一种较高形式的控制系统。SCC 系统实现了分级控制：生产过程的闭环自动调节依靠 DDC 计算机完成，SCC 计算机对生产过程的工艺参数进行巡回检查以获取信息，按照由实现生产过程的最优指标或平稳操作建立控制模型，计算出相应的工艺操作参数，作为 DDC 计算机的设定值，以实现生产过程的最优化控制或平稳工作。SCC 系统改进了 DDC 系统在实时控制时采用周期不能太长的缺点，能完成较为复杂的计算，可实时实现优化控制。

对于复杂的控制过程，如多输入多输出、多回路、非线性、相互关联与耦合的对象，理想的控制系统应该协调各个参数的变化。单元组合式仪表控制系统难于适应复杂对象的控制要求，而计算机控制系统较单元组合式仪表有较大的优势。

DDC 系统和 SCC 系统都属于集中控制系统，这种集中型计算机控制系统在将控制集中的同时，也将危险集中，因此可靠性不高。计算机一旦发生故障，将使整个系统瘫痪。因此在具体实施时，往往对计算机控制系统不太放心，故在使用这种集中式计算机控制系统时，又在很多场合下仍保留了模拟调节仪表，这使系统繁冗。而且随着生产的发展，生产规模越来越大，信息源越来越多，仅靠一台大型计算机来完成过程控制和生产管理的全部任务是不恰当也是不可能的，生产实际呼唤新的计算机控制系统，集散控制系统应运而生。

1.2.4 集散式控制系统（DCS）

1.2.4.1 DCS 的发展历程

以常规模拟仪表组成的过程控制系统虽然具有可靠性较高、成本较低、易于维护等优点，但随着生产的进一步发展，其局限性也越来越显露出来，主要表现在：对多变量相关对象和复杂控制规律的实现都很困难，控制室的仪表盘尺寸过大，难以实现集中的显示和操作，不便于通信联系，难以组成分级控制系统，对对象组成的变更比较困难，难以实现对复杂对象的控制。随着电子技术、计算机技术和通信技术的发展，以及测量仪表的进一步精确和现代控制理论的出现，新的过程控制系统集散控制系统（DCS）诞生了。DCS 又称分布式计算机控制系统，它的出现被公认为是工业控制的一个里程碑。

1975 年，美国霍尼韦尔（HoneyWell）公司推出了 TDC2000 集散控制系统。这是一个具有许多微处理器的分级控制系统，以分散的控制设备来适应分散的过程对象，并将它们通过数据高速公路与基于 CRT 显示器的操作站相连接，一起对实时工业过程进行控制和监视，达到掌握全局的目的，实现了控制系统的功能分散、负载分散，从而危险也分散，克服了集中型计算机控制系统的一个致命弱点。DCS 的主要发展历程如下：

- 1975 年~1976 年是集散控制系统发展的第一个高潮。
- 20 世纪 80 年代, 随着微处理器运算能力的增强以及超大规模集成电路集成度的提高和成本的不断降低, 过去难以想像的功能可以实施, 推动了以微处理器为基础的过程控制设备和集散控制系统、可编程控制器等同步发展, 集散控制系统进入一个飞速发展的时期, 形成了第二个高潮。
- 20 世纪 90 年代, DCS 发展迅猛, 出现了生产过程控制系统与信息管理系统紧密结合的管控一体化的新一代 DCS。

DCS 向综合性、开放性发展, 大型 DCS 在进一步完善和不断提高之时还发展了小型 DCS, 并采用了人工智能等先进控制技术。目前, DCS 已经广泛应用于工业过程控制, 并延伸到离散制造业和大型研究实验中。

1.2.4.2 DCS 的结构

DCS 的基本思想: 控制分散管理集中, 即在整个控制系统工作之前目标和任务先按一定方式分配给子系统, 子系统之间又可以进行信息交换。DCS 将所有信息集中于控制室, 便于操作人员监视、操作和集中管理。

DCS 采用分散控制、集中操作、分级管理、分而自治和综合协调的设计原则, 把系统从上到下分为直接过程控制级、集中操作监控级、综合信息管理级, 形成分级分布式控制。DCS 系统的典型结构如图 1.4 所示。

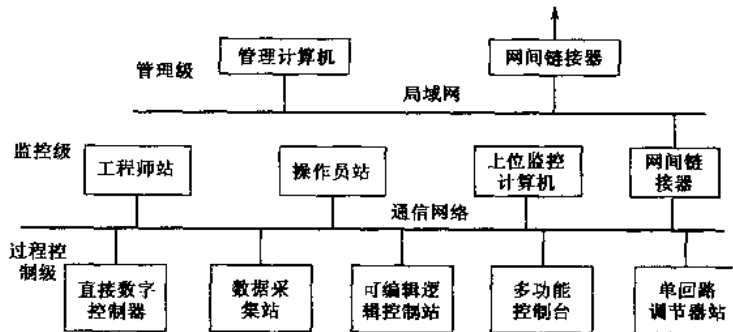


图 1.4 DCS 系统结构示意图

DCS 是一个多级结构的计算机控制网络系统。通常按功能和位置把 DCS 划分为直接过程控制级, 集中操作监控级和综合信息管理级三个层次。

1. 直接过程控制级

这一级直接面向生产过程, 是集散控制系统的基础。它直接完成生产过程中的数据采集、调节控制, 以及实现闭环和开环控制功能, 包括直接数字控制和顺序控制等功能。其过程输入信息是面向传感器的信号, 如热电偶、热电阻、变送器(压力、流量、液位等)及开关量、频率量等, 其输出驱动执行机构。

构成这一级的装置主要有: 数据采集站(数据采集装置或采集器)、DDC 控制站(直

接数字控制机或控制器)、多功能控制站(多功能控制器、批量控制器)、顺序控制站(可编程序控制器 PLC)、单回路/多回路智能控制器等。

2. 集中操作监控级

这一级以操作监控为主要内容,兼有部分管理功能。这一级面向系统操作员和控制系统工程师,因此需要配备功能强、手段全的计算机系统,如大屏幕显示器、大容量存储装置和相应的软件工具。确保系统操作员和工程师能对系统进行监视和有效的干预,保证生产过程正常运行。其组成包括:监控计算机,工程师显示操作站,操作员显示操作站,数据存储/纪录检索站等。

监控级的主要任务是实现过程级协调和优化控制,具体包括以下方面:

- 优化控制功能,即根据某一目标函数和生产过程模型,用数学进行优化运算,得出一些优化控制条件,反馈给直接过程控制级;
- 自适应回路控制,即根据估计的模型及参数,计算优化控制条件,将条件传给直接控制级。

3. 综合信息管理级

这一级由高档微机或小型机担当的工厂自动化综合服务体系和办公自动化系统组合而成,负责有关的经济、商务、工程、生产方面的综合处理,达到优化组合的目标。

管理级的主要功能包括:

- 市场经济情报,包括情报收集、市场分析、预测、用户反馈、市场经济走向等;
- 销售管理,包括合同管理、订货交货统计、合同履行、材料库存、外购订货管理等;
- 生产管理,包括生产订货安排等;
- 成本控制,包括制造成本、管理成本、价格核定等;
- 质量管理,包括零部件、半成品、成品质量、外协部件质量控制统计、工艺参数分析等。

1.2.4.3 DCS 的网络通信特点

DCS 的三级结构通过计算机网络通信技术得以维系起来,通常采用局域网完成数据通信。DCS 完成的是工业控制,其通信系统与一般办公室用的局部网络有所不同,DCS 中的局域网应能满足以下特殊要求:

(1) 快速实时响应能力

分散型控制系统通信网络实时性好,能及时地传输现场过程信息和操作管理信息,能适应工业实时控制的需要。

(2) 极高的可靠性

分散型控制系统的通信系统必须连续运行,通信系统的任何中断都可能造成停产,甚至造成设备和人身事故。因此通信系统必须具有极高的可靠性,一般通信系统采用双网备份方式,以提高可靠性。