

化工继续工程教育系列教材

单回路数字调节器

中国化工学会教育工作委员会组织编写



化学工业出版社

化工继续工程教育系列教材

单回路数字调节器

中国化工学会教育工作委员会组织编写
夏焕彬等编



化学工业出版社

9110120

内 容 提 要

本书是化工工程师继续工程教育的教材。全书共分6章。第1章单回路数字调节器概述,第2章数字调节器的基础理论,第3章YS-80系统构成,第4章不可编程单回路数字调节器,第5章可编程序单回路数字调节器,第6章单回路数字调节器的应用。全书力求深入浅出,理论与实践相结合,有例题和应用程序库,便于自学和应用。

本书可供从事过程控制系统设计、安装和现场维护操作,有一定实践经验的工程技术人员继续进行专业学习参考,也可做为大专院校有关师生的参考教材。

DT65/10

化工继续工程教育系列教材

单回路数字调节器

中国化工学会教育工作委员会组织编写

夏焕彬等编

责任编辑:刘哲

封面设计:任辉

化学工业出版社出版发行

(北京和平门七区十六号楼)

化学工业出版社印刷厂印刷

可各印刷厂装订

新华书店北京发行所经销

开本 $787 \times 1092^{1/32}$ 印张 $14^{3/4}$ 插页1字数339千字

1990年12月第1版 1990年12月北京第1次印刷

印数 1—4000

ISBN 7-5025-0837-6/TP·25

定 价 8.60元

前 言

数字调节器已广泛应用于各种过程控制系统。

本书是对从事过程控制、系统设计、安装和现场维护操作，有一定实践经验的工程技术人员进行继续工程教育的参考教材，也可供大专院校有关专业师生做参考教材。

中国化工建设总公司进口仪器仪表技术服务公司与北京化工学院共同举办的日本横河公司产品用户培训中心，已经举办了近60期培训班，这本书就是在培训教材的基础上，由上述两个单位一些同志重新编写的。本书第1章由李晓香、姜亚春编写；第2、5章由夏焕彬编写；第3章由姜亚春编写；第4章由张继发编写；第6章由扈德忱编写。全书由北京化工学院夏焕彬副教授加工整理。

本书主要取材于日本横河公司的有关技术资料。第3章参考了施仁、蔡建陵主编的《微机控制仪表及系统》的有关章节。

本书的编写原则是力求深入浅出，理论与实践相结合，所以有较多的例题和应用程序库，以便于自学和应用。但是，由于编者较多，水平有限，难免有些错误和不当之处，敬请读者指正。

编者

一九八九年五月 于北京

目 录

第1章 单回路数字调节器概述	1
1.1 计算机控制系统的发展概况	1
1.2 单回路可编程数字调节器的特点	2
1.3 数字调节器的性能评价及可靠性分析	6
1.3.1 数字调节器的性能评价	7
1.3.2 数字调节器的可靠性分析	9
1.4 数字调节器的软件技术	23
1.4.1 POL语言概述	23
1.4.2 数字调节器的过程管理程序	25
第2章 数字调节器的基础理论	27
2.1 计算机控制系统的构成	27
2.1.1 计算机控制系统的构成	27
2.1.2 计算机控制系统的分类	29
2.2 采样过程与采样定理	34
2.2.1 信号的采样过程	34
2.2.2 采样过程的富里叶变换表达式	37
2.2.3 采样定理 (Shannon定理)	39
2.2.4 采样开关	41
2.3 信号保持与保持器	43
2.3.1 信号保持	43
2.3.2 零阶保持特性	44
2.3.3 一阶保持特性	47
2.3.4 零阶保持电路	51
2.4 A/D/A转换电路	54
2.4.1 A/D转换原理	54

2.4.2	D/A转换原理	56
2.5	信号的数字滤波	59
2.5.1	算术平均值滤波	60
2.5.2	中值滤波	62
2.5.3	限幅滤波	63
2.5.4	一阶惯性滤波	63
2.6	PID控制算式分析	65
2.6.1	经典控制和现代控制的比较	65
2.6.2	PID控制算式分析	86
2.6.3	PID参数的整定	74
2.7	复杂控制算式分析	79
2.7.1	前馈控制算式分析	79
2.7.2	具有纯滞后的史密斯预估控制	82
2.7.3	选择性控制	86
第3章	YS-80系统构成	88
3.1	概述	88
3.1.1	YS-80系统开发背景	88
3.1.2	YS-80在集散系统中的地位	88
3.2	盘装仪表群简介	90
3.2.1	SLCC混合调节器	90
3.2.2	SLBC分批调节器	98
3.2.3	SLMC可编程脉冲宽度输出调节器	102
3.2.4	SRVD记录仪	112
3.2.5	SMRT比率设定器	119
3.2.6	SMST手动操作器	131
3.3	架装仪表群简介	137
3.3.1	STED毫伏温度变送器	137
3.3.2	SDBT型配电盘	150
3.3.3	SIND比率积算器	153
3.4	集中监视与通讯系统	156

3.4.1	数据通讯的基本概念	156
3.4.2	YS-80与上位机的数据通讯	165
3.4.3	YS-80与YEWPACK的数据通讯	183
第4章	不可编程单回路数字调节器	187
4.1	SLCD指示调节器的构成及电路分析	187
4.1.1	SLCD指示调节器的构成	187
4.1.2	SLCD指示调节器的电路分析	189
4.2	SLCD指示调节器的功能分析	198
4.2.1	显示、设定与操作功能	198
4.2.2	整定参数的设定	201
4.2.3	控制功能及功能扩展	201
4.2.4	自诊断功能及停电措施	223
4.2.5	通讯功能	225
4.3	功能加强型SLCD * E指示调节器介绍	230
4.3.1	SLCD * E型指示调节器概况	230
4.3.2	SLCD * E型指示调节器控制功能分析	230
4.3.3	SLCD * E型指示调节器辅助控制功能	247
4.3.4	SLCD * E型指示调节器的自诊断功能	250
4.4	SLCD指示调节器的校验及故障检查	252
4.4.1	校验方法	252
4.4.2	故障检查步骤	254
第5章	可编程序单回路数字调节器	267
5.1	SLPC单回路可编程序调节器构成原理	267
5.1.1	SLPC的构成原理	267
5.1.2	SLPC的特点	279
5.2	SLPC的运算原理	281
5.2.1	程序的构成	281
5.2.2	各寄存器的功能	282
5.2.3	运算寄存器的动作原理	284
5.2.4	输入、输出信号与内部数据的变换关系	285

5.3	SLPC主要运算指令分析	286
5.3.1	基本运算指令	290
5.3.2	函数运算指令	296
5.3.3	数字逻辑运算指令	306
5.3.4	基本控制运算及功能扩展	313
5.4	SLPC的自诊断功能与通讯功能	340
5.4.1	自诊断功能	340
5.4.2	通讯功能	342
5.5	SLPC * E功能增强型单回路可编程序调节器	351
5.5.1	SLPC * E结构上的改进	351
5.5.2	运算和控制功能的增强	360
5.5.3	专家系统自整定功能	366
5.6	SPRG编程器	372
5.6.1	编程器的基本功能	372
5.6.2	编程器的构成	374
5.6.3	编程器的主要键和使用要点	375
5.6.4	编写模拟程序的方法	378
5.7	可编程序调节器编程步骤实例	382
第6章	单回路数字调节器的应用	397
6.1	基本控制应用举例	397
6.1.1	带有温压补偿的理想气体流量控制	398
6.1.2	两个输入相加作为测量值的PID控制	403
6.2	复杂控制系统应用举例	407
6.2.1	给水控制系统	408
6.2.2	主蒸汽温度控制系统	421
6.2.3	主蒸汽流量的温压补偿运算	427
6.3	顺序控制功能应用举例	433
6.3.1	锁定形报警	433
6.3.2	由接点输入和按钮进行运行状态切换	435
6.4	YS-80系列可编程仪表应用程序库	438

6.4.1	提高计时器分辨率的程序	438
6.4.2	计数器程序	440
6.4.3	使用内部寄存器进行移动平均运算	443
6.4.4	二十折线线性化器程序	446
6.4.5	使用PF键PF灯的程序	447
6.4.6	通过外部接点输入进行手动、自动切换的程序	449
6.4.7	小信号切除点可变形开方运算	451
6.4.8	串级控制运算指示功能切换程序	453
6.4.9	CSC控制运算与CNT1单独直接控制输出的切换	457
6.4.10	程序控制调节器	461

第 1 章 单回路数字调节器概述

1.1 计算机控制系统的发展概况

数字电子计算机的问世，在科学技术上引起了一场深刻的革命。四十余年来，随着微电子技术和软件科学的不断完善发展，计算机已成为工程技术领域的强有力的工具。电子计算机具有运算速度快、精度高、存贮容量大和逻辑判断功能强等优点，因此在过程控制领域里同样获得了广泛的应用，大大推进了过程控制的发展。

电子计算机在过程控制中经历了巡回检测、数据处理和开环指导等阶段，于五十年代末期进入了在线闭环控制阶段。即从组成计算机的元器件由真空管向晶体管过渡的第二代计算机开始，计算机在过程控制中的应用研究就活跃起来，第一台控制计算机就是1959年3月美国德士古公司在阿瑟港炼油厂使用的。

七十年代初随着微电子技术的迅猛发展，微处理器的成本大大降低，功能丰富，可靠性提高，使计算机在过程控制中的应用出现了崭新局面。概括的讲有如下几种形式。

1. 开环指导系统

由计算机对过程参数进行巡回检测，并在屏幕上进行显示，用打印机打印出处理数据，编制报表。操作人员根据计算机给出的数据进行操作或改变常规调节器的设定值。这种控制方式因为要操作人员介入，系统没能形成闭环，所以称为开环指导

9110120

系统。

2. 直接数字控制系统

在直接数字控制系统中，计算机不仅完成了巡检和计算，而且取代了常规调节器和操作人员，对生产过程进行直接控制。由于计算机的输入、输出信号都是数字量，故简称为DDC控制（Direct Digital Control）。目前常见的计算机控制系统大多数属这类形式。DDC控制是由一台计算机对多个过程变量进行巡回检测，将所测得的测量值与设定值进行比较，再按PID控制规律进行运算，然后将输出信号作用于执行器，完成对生产过程的闭环控制。

DDC控制系统的优点是系统组成较灵活，可以实现复杂控制，如串级控制、前馈控制、自动选择过程以及具有大滞后的控制系统等。其特点是可靠性较差，如果计算机或A/D、D/A转换部分发生故障，将使整套系统失控。这对于连续生产的化工、石油等控制系统是一个很大的潜在危险，必须采取可靠性措施才能放心使用。

3. 设定值控制系统

计算机按规定算法，计算出某一回路的最佳设定值并送给常规调节器，由常规调节器来完成对该回路的控制作用。计算机只是给常规调节器提供最佳设定值，或者说监督常规调节器完成控制作用。所以这类控制系统简称SPC控制系统（Set Point Control）。

SPC控制系统的特点是设定值可调，便于生产过程的优化控制。另外，每个控制回路都有一台常规调节器，即使计算机发生故障，各回路仍然可以由常规调节器完成控制作用，确保生产过程的连续与安全。当然，这类控制系统由于常规仪表与计算机并用，投资费用较大。

4. 集散控制系统

集散型控制系统是在1975年前后开发研制的。所谓“集”就是集中管理信息；所谓“散”就是把控制功能分散。这种集散型控制系统集常规调节系统与计算机控制系统的优点于一身，实现了集中管理、功能分散、危险性分散的新的设计思想。这类控制系统简称TDCS (Total Distribute Contorl System)。

TDCS的基本控制单元可以是单回路数字调节器或现场控制单元，一般可控制十几个回路至几十个回路。操作台、显示器和管理机可进行数字处理、下达各种高级指令实现最优控制、程序控制和系统开发工作。I/O接口单元完成各种开关量、模拟量的数字处理、执行报警、联锁等功能。

TDCS系统具有高可靠性、高运算速度。由于系统实现模块化，使设计开发工作十分简便，从而降低了回路价格比。当然，对于大中型企业应用TDCS是较为理想的，对于中小型企业仍然难于承受经济和技术负担。

1.2 单回路可编程数字调节器的特点

单回路数字调节器 (Single Loop Programmable Controller)简称SLPC,是1980年前后推出的。它的基本设计思想是计算机的控制功能自上而下的再分散，并且吸收常规调节器的优点，满足用户的使用习惯，把单回路调节器作为整个集散型控制系统的下位机。SLPC与常规调节器一样，采用单独盘装结构，正面表盘的设置也和常规仪表一样。但是它内部由于采用了微处理器，所以控制功能大大加强，并可以通过通讯母线与上位管理机通讯，也可以根据工艺要求编写程序，完成较复杂的控制功能。应该说，单回路可编程序调节器做为计算机控

制系统的一个组成部分，是近代控制技术、计算机技术以及通讯技术高度发展的产物。

目前世界各国推出了多种型号的单回路数字调节器，虽然种类繁多，但构成原理及功能大致相仿。现以日本YEW公司生产的YS-80系列为例加以说明。

1. 具有良好的操作性、监视性，并保持良好的盘操作性

单回路数字调节仪表具有同模拟仪表相同的外观，一看就能明白正面表盘操作、设定之类的功能。调节器的侧面调整盘是采用按钮设定方式，而且可编程。仪表还可以清晰地显示出用字母表示的项目和用数字表示的工程量。

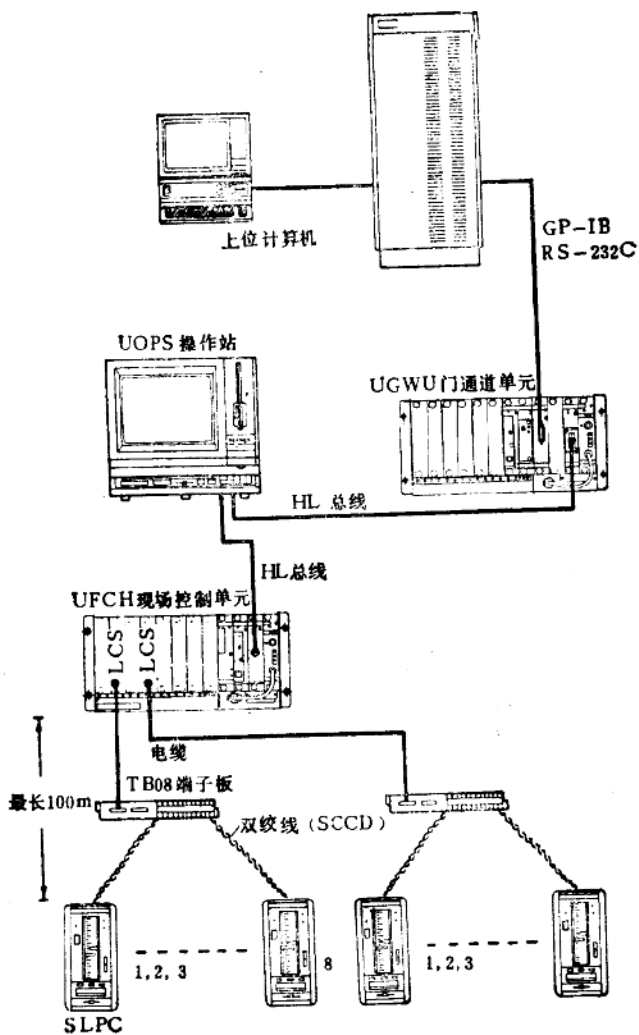
2. 控制功能丰富

常规模拟仪表，一台调节器只能完成单一的控制功能。为使功能完善，单回路数字仪表采用了微处理器CPU，使一台调节器能够实现非线性PID、重定偏置可变设定、比率控制、串级控制、采样PI控制以及选择控制等多种功能。对可编程仪表，只需要换一块ROM芯片就可改变控制程序，从而大大减少了大型企业使用的仪表台数，可靠性及精度大大提高。

3. 具有自诊断功能，采用了安全措施，有效地防止了误操作

单回路数字仪表具有完善的对自身硬件进行诊断的自检查功能。在微处理器的作用下，利用软件诊断程序功能，对系统内部所有硬件进行定期的诊断。如发现故障，则将故障以十六进制数码形式在相应的显示器或侧面调整盘上显示出来。通过代码，操作人员可辨别出故障的类型及位置，便于迅速准确地排除故障，缩短维修时间。

YS-80系列仪表在线运行时，内部WDT监视回路可以随时进行自诊断。它包括对设定值和测量值是否在正常范围进行



最多24台/UFCH 1 台

图 1-1 YS-80系列与YEWPACK的连接

检查,对操作输出是否断线、负载阻抗是否正常进行检查。一旦出现异常,正面表盘黄色报警灯亮。作为仪表控制中心的微处理器CPU,其主要任务是监视输入、输出回路的工作,当CPU出现异常或内部A/D、D/A转换单元异常时,正面表盘红色故障灯亮。带有显示窗的仪表如SLCD*E、SLPC同样可以以数码形式显示出故障类型。

4. 备有通讯功能,容易和集中监视装置或计算机联机

单回路数字调节器与传统的模拟控制仪表相比,因为过程变量是用数字进行处理的,所以可通过通讯线路与上位系统进行大量的数据变换。图1-1是YS-80系列单回路数字调节器与做为上位机的YEWPACK-Ⅱ相连,实现对过程变量进行集中监视管理和控制的构成图。

1.3 数字调节器的性能评价及可靠性分析

数控技术的发展不仅能使生产过程实现复杂的高级控制,而且把仪表的可靠性提高到了一个新水平。1971年前后世界各国先后推出了采用线性IC电路的全电子式控制装置。日本YEW公司生产的I系列调节器就是其中的典型代表。I系列调节器不仅有完善的控制功能,而且有较高的可靠性。据有关资料介绍,1975年以后,I系列仪表的故障率为0.2%/1000h,与YEW公司生产的气动100系列的故障率相仿。YS-80系列仪表的可靠性比I系列仪表的可靠性又有很大提高。据介绍,YS-80可编程序调节器的平均无故障时间(MTBF)达33万~125万小时。若每年连续运行11个月,则平均无故障时间可达40~150年。当然,能否达到这个指标,还应该由生产实践来进一步证明。下面我们来讨论如何评价数字调节器的性能和可靠性。

1.3.1 数字调节器的性能评价

数字调节器的外表虽然与常规模拟调节器大致相同，功能也基本相同，但是因为它内部采用微处理器，所以两类调节器的性能有着本质差别。我们选择数字调节器时，应从如下两方面来评价。

1. 运算控制功能

常规模拟式调节器是由电阻、电容、晶体管或线性电路所构成的硬件来完成各种控制功能的。这种控制功能是由制造厂在设计制造时就确定下来的，用户在一般情况下是不能更改的。常规模拟调节器的运算功能通常是PID运算，并可显示测量值、设定值和输出值，回路之间可实现串级，并具有软手动和硬手动操作特性。单回路可编程序数字调节器与常规模拟调节器完全不同，在不更改硬件结构的前提下，可以通过编制不同的软件，实现多种控制运算功能。为了方便用户，制造厂提供了各种功能的子程序，这些子程序构成了多种功能模块。用户根据自己的实际需要，用极少量十分简单的连接语言就可组成所需要的控制算法。通过这种“软”连接，就可完成从PID运算到串级、前馈控制；从连续控制到采样控制、选择控制和批量控制；从单参数的控制到多参数代数运算补偿；改变系统总增益及偏置量；实现输入输出跟踪及多种形式的报警和联锁功能。

因此，一台带微处理器的数字调节器，如能充分发挥其内部各种功能，可相当于5~10台常规仪表。我们在选择数字调节器时，要充分了解它的运算控制功能，尽可能发挥它的潜力，只有这样才能使控制系统更加合理，才可能降低回路价格比。

评价运算控制功能的项目主要有如下项目：

微处理器位数；
存贮器种类和容量；
存贮器掉电后的保护措施；
模拟量输入、输出点数；
数字量输入、输出点数；
内部函数运算的种类和步数；
控制算法的种类和可使用次数；
控制运算周期；
功能的形成方式；
显示设定的方式与精度；
报警功能。

2. 通讯和自诊断功能

一台带微处理器的单回路数字调节器无论怎样强，如果不具备与上位机构成通讯网络的功能，其作用将与常规模拟调节器一样，仍然是彼此分散的，无法实现集中监视、集中控制和管理。因此，数字调节器都必须具有通讯功能。

通讯功能主要是将调节器的设定值、工作状态、输入值、输出值以及PID整定参数、各类报警设定值经通讯线送到集中监视操作站或上位机，集中监视操作站将收集来的大量信息进行存贮，并根据指定的要求来自动打印各种报表以反映生产过程的现状和历史趋势。通讯功能的另一作用是集中监视操作站或上位机，可以经过通讯线来改变各调节器的工作状态、设定值以及PID整定参数。这样才体现了集中管理的功能。

从上述两点我们可以看出，数字调节器与常规模拟调节器是有本质区别的。它可以单独使用，能代替几台常规模拟仪表；也可以与上位机联成网络，构成集散型控制系统。这种可大可小、可增可减的灵活可扩性，增强了集散型控制系统的灵