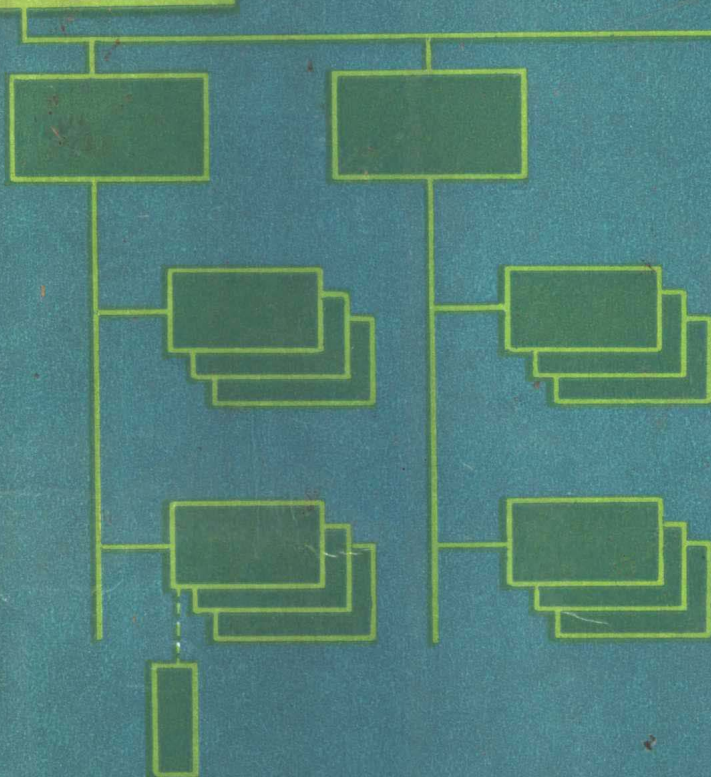


SHUZI YIBIAO KONGZHI XITONG



数字仪表控制系统

(日) 森下 岩 主编 施 仁 译

西安交通大学出版社

〔日〕森下 岩 主编

数字仪表控制系统

施 仁 译

西安交通大学出版社

内 容 提 要

本书介绍近年来在工业过程控制中迅速发展着的、以微处理器为基础的分散型控制仪表的工作原理和系统结构，内容从单回路可编程序调节器到大规模综合控制系统。叙述简明扼要，适于从使用角度建立分散控制系统的完整概念。

全书共分七章，第一章数字仪表控制系统的发展历史，第二章系统要素与系统构成方式，第三章控制算法，第四章运算模块和系统组态，第五章人机接口，第六章数据通信，第七章系统的工程实现。

本书可作为大专院校有关专业的选修课教材及参考书，也可供从事仪表和自动控制方面的工程技术人员阅读参考。

シタレ計装制御システム

〔日〕森下 岩 主编

数 字 仪 表 控 制 系 统

施 仁 译

责任编辑 早雪 房立民

西安交通大学出版社出版

(西安市咸宁路28号)

陕西省印刷厂印装

陕西省新华书店发行 各地新华书店经售

787×1092毫米 32开本 10册张 206千字

1988年5月第1版 1988年5月第1次印刷

印 数：1—5000册

ISBN 7—5605—0052—8/TH·5 定价：1.85元

出版说明

近年来由于微处理器的广泛应用，工业控制仪表正处于新的变革阶段。新型的数字控制仪表不仅功能丰富、组态灵活，而且比模拟仪表具有更好的操作性和安全性。正因如此，在技术先进的国家，工业控制系统中已大量使用以微处理器为基础的数字控制仪表。我国从1985年开始，已在西安、重庆、兰州、上海、天津等地引进微机集散控制仪表的生产线，大量生产多种类型的数字控制仪表。

面对这种迅猛发展的形势，国内却很少见到介绍这方面技术的书籍，为此，我们翻译了这本日文书。本书是东京大学著名学者森下岩教授主编，由日本生产微机控制仪表的主要公司：横河、山武HONEYWELL、日立、东芝、富士电机及三菱公司的技术人员合作编写而成的，因而内容丰富，既反映了各公司设计上的特点，又能超脱个别产品的局限性，从总体上介绍微机控制仪表的工作原理和系统结构，使读者能清晰地建立起微机仪表控制系统的完整概念。

本书译稿承西安交通大学顾明耀副教授审阅，他在百忙中对本书提出了许多宝贵的修改意见，在此谨表示深切的谢意。

由于技术上的原因，本书出版时删去了第二章和第五章中的一些照片(第五章中有些照片作了更换)，请读者谅解。不过这些照片与文字的关系不大，删去后不会影响对前后文

字的理解。

由于译者水平所限，译文中一定还有许多错误和不妥之处，请读者批评指正。

译 者

1987. 1 .

前 言

本书介绍了近年来迅速发展着的数字仪表控制系统。对数字仪表控制系统的介绍,可从各种不同的角度出发,本书并不深入探讨仪表内部的硬件和软件细节,而采取对系统总体进行全面介绍的方法。也就是说,本书编写的首要目的,是给使用数字仪表控制系统的工程技术人员提供帮助。

在数字仪表控制系统的领域中,日本的技术是十分领先的,各制造厂推出了种种各有特色的系统。一般地说,数字仪表系统由于构成自由度大,所以是一个十分富有多样性的领域。对于各个具体系统,虽然制造厂都提供了详细的手册和技术资料,但这些材料对于学习数字仪表控制系统的总体概念来说却未必适当。本书把介绍各种系统共同的基本考虑方法作为重点,以便于初学者学习为首要目标,对那些有经验的技术人员来说,也希望在帮助他们建立完整的系统概念上有所裨益。

编写本书时,无论是全书的结构还是各章节的内容,都经过编者和全体执笔者的长时间讨论,从这个意义上来说,本书是全体执笔者的共同作品。各章执笔的大致分工如下:

第一章	上谷晃弘	第五章	渡边成一
第二章	的场 彻	第六章	福井康裕
第三章	富田芳生	第七章	今井 溥
第四章	黑岩重雄		

(第四章第四节 富田芳生)

像本书这样介绍数字仪表控制系统的书，不仅在日本没有，就是在欧美各国好像也没有见到。由于编者和执笔者的考虑不周，书中可能有许多不当之处，恳请读者批评指正。

在本书的规划阶段，岛津制作所的加纳郁夫提出了宝贵的建议。此外，对第三章的内容，东京大学北森俊行教授在审稿时也提出了宝贵的意见，对此深表谢意。

森下 岩

1982年12月

目 录

第一章 数字仪表控制系统的发展

1.1 前 言	(1)
1.2 计算机的出现与DDC	(2)
1.2.1 计算机进入过程控制仪表	(2)
1.2.2 计算机与过程仪表的结合	(3)
1.2.3 DDC的发展	(4)
1.3 数字仪表控制系统的出现	(6)
1.3.1 微处理器的问世	(6)
1.3.2 出现的背景	(7)
1.3.3 电子技术的发展与单回路调节器	(10)
1.3.4 仪表系统的综合化	(12)
1.4 CRT操作的普及	(13)
1.5 数字仪表控制系统的展望	(16)

第二章 系统要素与系统构成方式

2.1 仪表控制系统的功能	(18)
2.1.1 仪表控制系统的概念	(18)
2.1.2 控制功能	(19)
2.1.3 监视及操作功能	(21)
2.1.4 过程接口	(22)
2.2 系统的构成要素	(24)
2.2.1 调节器	(24)
2.2.2 人机接口装置	(33)
2.2.3 数据通信	(37)
2.2.4 计算机	(44)

2.3 系统的构成方式	(46)
2.3.1 分散的方式	(46)
2.3.2 分散系统的结构	(49)
2.3.3 数字仪表控制系统的体系结构	(51)
2.3.4 整体式与分离式	(55)
2.3.5 系统构成的例子	(57)
2.4 冗余化结构	(62)
2.4.1 冗余化的方式	(62)
2.4.2 冗余化的具体方案	(64)

第三章 控制算法

3.1 PID控制的基础	(75)
3.1.1 PID控制的组成	(75)
3.1.2 PID动作的差分方程表达式	(76)
3.1.3 采样周期的影响	(79)
3.1.4 整量化的影响	(82)
3.1.5 数字滤波器	(84)
3.1.6 不完全微分的导入	(86)
3.1.7 速度式运算和位置式运算	(87)
3.2 PID控制的变形	(89)
3.2.1 微分先行的PID控制	(90)
3.2.2 比例先行的PID控制	(91)
3.2.3 带死区的PI控制和偏差平方型PI控制	(96)
3.2.4 采样PI控制	(97)
3.2.5 混合过程PID控制	(100)
3.3 PID控制的参数整定	(101)
3.3.1 模拟调节器的算法及相互干扰系数	(102)
3.3.2 微分先行PID的参数整定	(107)
3.3.3 比例先行PID的参数整定	(107)

3.3.4 PID各动作的特征	(113)
-----------------------	-------

3.3.5 带死区的调节器整定时应注意之点	(117)
-----------------------------	-------

第四章 运算模块和系统组态

4.1 运算模块和复合控制	(119)
---------------------	-------

4.1.1 复合控制的实现方式	(119)
-----------------------	-------

4.1.2 运算模块	(121)
------------------	-------

4.1.3 复合控制	(130)
------------------	-------

4.2 顺序控制	(141)
----------------	-------

4.3 先进控制	(143)
----------------	-------

4.4 系统组态	(144)
----------------	-------

4.4.1 数字仪表的软件	(144)
---------------------	-------

4.4.2 单回路系统的组态	(148)
----------------------	-------

4.4.3 复合控制回路的组态	(151)
-----------------------	-------

4.4.4 附加逻辑判断功能	(152)
----------------------	-------

第五章 人机接口

5.1 过程控制与人机接口	(155)
---------------------	-------

5.1.1 过程控制与人的关系	(155)
-----------------------	-------

5.1.2 数字仪表的人机接口	(157)
-----------------------	-------

5.1.3 自动化与过程的透明性	(162)
------------------------	-------

5.1.4 人机接口与宜人学	(164)
----------------------	-------

5.1.5 自动化的限度与人机接口	(165)
-------------------------	-------

5.2 仪表盘操作	(167)
-----------------	-------

5.2.1 盘操作的构成和目的	(167)
-----------------------	-------

5.2.2 回路操作器	(168)
-------------------	-------

5.2.3 简易型操作台	(172)
--------------------	-------

5.2.4 单回路调节器	(177)
--------------------	-------

5.3 CRT操作	(178)
-----------------	-------

5.3.1 CRT操作的背景	(178)
----------------------	-------

5.3.2	CRT操作系统的组成	(183)
5.3.3	过程监视功能	(185)
5.3.4	过程操作功能	(190)
5.3.5	流程图显示	(197)
5.3.6	无盘CRT操作的例子	(200)
5.3.7	支援功能	(201)

第六章 数据通信

6.1	数字仪表控制系统与数据通信	(204)
6.1.1	控制系统的功能与阶层结构	(204)
6.1.2	信息传送	(206)
6.1.3	通信线路的构成与数据交换	(209)
6.1.4	通信量的控制	(211)
6.1.5	传送控制	(211)
6.1.6	通信系统的性能	(213)
6.1.7	通信系统的可靠性	(215)
6.2	数据通道	(218)
6.2.1	什么是数据通道	(218)
6.2.2	应用环境	(219)
6.2.3	数据通道系统的构成技术	(219)
6.2.4	通信协议	(228)
6.3	与计算机之间的通信	(232)
6.3.1	应用环境	(232)
6.3.2	不同种计算机间通信的工程实现	(233)
6.3.3	并行数据传送 (PI/O通信)	(237)
6.3.4	串行数据传送	(243)

第七章 系统的工程实现

7.1	过程仪表控制系统的工程实现	(254)
7.2	对系统的研究	(255)

7.2.1 对运转系统的研究	(255)
7.2.2 系统的目的	(259)
7.2.3 人机接口的目的	(260)
7.2.4 数字仪表控制系统的优点	(261)
7.2.5 进行数字化时应注意的问题	(264)
7.3 系统设计	(265)
7.3.1 初步规划	(265)
7.3.2 对安全性和可靠性的探讨	(270)
7.3.3 与其他系统的结合	(275)
7.3.4 对扩展性的考虑	(277)
7.3.5 详细设计	(278)
7.4 安装计划	(287)
7.4.1 安装的环境条件	(287)
7.4.2 电源设备	(292)
7.4.3 安装布线	(295)
参考文献	(299)
作者简介	(305)

第一章 数字仪表控制系统的发展

1.1 前言

数字仪表控制系统（下面简称数字仪表）的发展，开始于计算机在工业领域中的应用，虽然它在功能上继承了使用计算机的DDC（direct digital control 直接数字控制）中已经实用化了的技术，但作为一种仪表，它已发展得比直接使用计算机方便多了。

回顾工业仪表发展的历史，一方面固然气动仪表也在发展，但更为主要的是由电动式向电子式（晶体管→集成电路），即全面吸收整个电子技术的发展。如图1.1所示，在

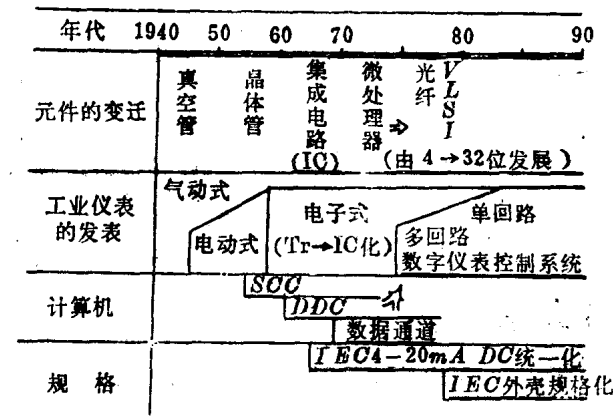


图 1.1 电子技术的发展与工业控制系统的变迁

电子技术的发展中，有一个以微处理器为代表的LSI（大规模集成电路）技术，它与通信技术、显示技术，特别是软件技术有机地结合在一起。也就是说，过去在使用计算机控制时，因为别无他法，只能采取集中型的DDC方式，而现在由于微处理器的发展，分散为更小单位的DDC已经可以实际应用，于是就产生了数字仪表。可以认为，今后的仪表将以数字仪表为主流。

1.2 计算机的出现与DDC

1.2.1 计算机进入过程控制仪表

从50年代后期，即从组成计算机的元器件由真空管向晶体管过渡（第二代计算机）的阶段开始，计算机在过程控制中的应用研究就活跃起来，第一台控制计算机是1959年3月美国德士古公司在阿瑟港炼油厂使用的。

作为计算机在过程控制中的使用研究，进行了下述尝试：

（1）数据报表

把过程信号直接与计算机相连，用计算机对过程运转状态进行监视和记录，以适应大型工厂的要求，为人工作业提供补充。

（2）设定值控制

充分利用计算机的运算能力，求出过程的最优运转及安全操作条件，无需人的参与，直接给出过程控制的目标。具体地说，就是由计算机直接向调节器提供设定值，这叫做SPC控制（set point control设定值控制）或SCC控

制 (supervisory computer control 监督计算机控制)。

计算机的这种用法,随着生产过程向大型化发展,在过程控制系统中固定下来。在日本的使用范围也是一年比一年扩大。

1.2.2 计算机与过程仪表的结合

随着计算机向过程控制仪表的深入,人们从各个角度讨论了模拟仪表与计算机结合的问题。因为计算机用的是数字技术,而模拟仪表属于模拟技术,要把两种不同的技术结合起来,总会发生一些矛盾。

例如在图1.2中,随着计算机的使用,模拟信号要同时向仪表盘和计算机两处传送,这样供连接信号用的端子板就比原来增加了。此外,在计算机一侧,为把模拟信号数字化,需要有一个尺寸很大的过程输入输出装置。

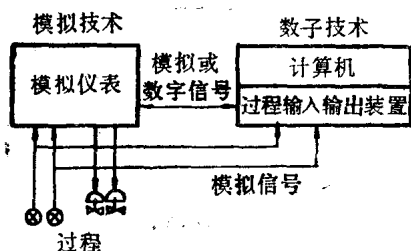


图 1.2 模拟仪表与数字仪表的结合方法

为改善这种情况,人们作了种种努力,以求模拟仪表与计算机结合的一体化,于是开发了图1.3所示的取消计算机侧的过程输入输出装置,改为在仪表盘中进行信号数字化的数字—模拟混合方式。虽然这种方式并未定型,但因对将来

的仪表系统提供了一种解决方法而很受到重视。

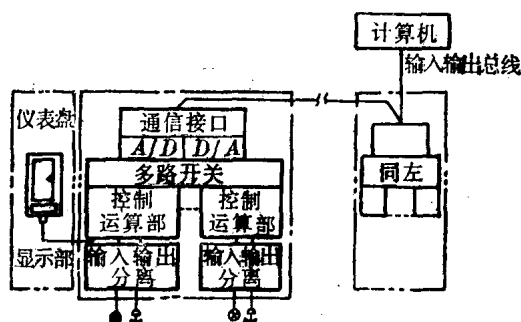


图 1.3 与计算机结合的仪表系统例子

1.2.3 DDC的发展

随着计算机向过程仪表的深入，人们为充分利用计算机的运算能力，考虑用计算机替代模拟式调节器和运算器所实现的功能，从而开发了用计算机直接进行数字控制的 DDC 方法。1962年，英国ICI公司首先实现了这种控制方法。以此为转机，ISA（美国仪表学会）发表了对DDC的指导方针，进一步促进了DDC的发展，这就是今天数字仪表控制系统的雏型。当时对DDC的要求如表1.1所示，可分为 I ~ IV 类，其基本思想是通过较多的回路共用一台计算机来提高经济性，也就是说，是属于集中型的 DDC。其可靠性（运转率）也可由工厂运转方面的要求来规定。

人们对 DDC 给予了很高的期望，研究了许多用于过程控制的具体问题。在日本，也以 ISA 指导方针为依据，对 DDC 系统进行了研究，并在 1965 年以后的二、三年内投入了实际使用。作为技术课题，也对硬件组成方法、备用方

表 1.1 按ISA指导方针分类的DDC规模

项 目	内 容
方 式	I 型 硬件接线的DDC专用机 规模约为100回路/计算机 必须具备最低限度的灵活性
	II 型 16kW (～14bit) 级的计算机 功能为 I 型 + 报表, 能作特殊运算 规模为50～150回路/计算机, 输入输出点数 (DDC回路: 一般输入点数 = 1:3～3.5) 可与上位计算机连接
	III 型 32kW (18～24bit) 级的计算机 功能包括SCC级的最优化
	IV 型 存储容量100kW以上, 能兼作科技计算的系统 可进行最优控制
人机接口	以数字显示器为中心的操作台
经济性	以50回路/系统时的投资与模拟仪表持平为目标
可靠性	目标值为99.95% (一年内停机 4 小时以内)
后备方式	手动备用方式

式、经济性、算法、滤波方法等许多问题进行了讨论。

在日本, 虽然用计算机实现DDC控制的例子不算太多, 但在功能研究上却产生了很大的效果, 在实现包括启动和停止在内的自动运转方面, 也取得了很大的进展。正如文献〔6〕所述, 在特定的领域, 或者说, 在过程控制方面取