

控制过程流程图

上

前 言

本讲义为仪表自动化专业学生的专业课教材之一。研究模拟式过程控制仪表的基本原理、性能分析和设计计算。

为加强学生分析和解决问题能力的培养，本讲义以模拟控制技术为线索，研究模拟式过程控制仪表共同的、基本的学科理论和设计知识，对具体产品一般不作介绍。

本讲义分上下两册。上册为第一至第五章：第一章绪论，第二章运算放大器特性，第三章基本运算和处理电路，第四章模拟信号的变换，第五章模拟信号的控制与执行。

在编写过程中得到崇安庆付教授热情指导与帮助，在此，表示衷心感谢。

由于时间极其仓促，编者水平有限，错误之处必然不少，望读者不吝指正。

编者

一九八〇年十一月

目 录

第一章 绪论

§ 1-1	工业过程测量与控制	1-1
§ 1-2	系统元件	1-4
§ 1-3	我国过程控制仪表	1-8
§ 1-4	模拟式过程控制仪表	1-17

第二章 运算放大器特性

§ 2-1	集成运算放大器的基本性质	2-1
§ 2-2	集成运算放大器的频率特性	2-5
§ 2-3	集成运算放大器的相位补偿	2-20
§ 2-4	反相运算放大器的运算误差	2-36
§ 2-5	同相运算放大器的运算误差	2-52
§ 2-6	积分器的运算误差	2-57

第三章 基本运算和处理电路

§ 3-1	对数和反对数运算放大器	3-1
§ 3-2	乘法和除法运算放大器	3-10
§ 3-3	电压比较器	3-17
§ 3-4	绝对值电路	3-26
§ 3-5	限幅电路	3-31
§ 3-6	有源滤波器	3-38
§ 3-7	采样—保持电路	3-56

第四章 模拟信号的变换

§ 4 - 1	信号体制	4 - 1
§ 4 - 2	变送器的构成原理	4 - 3
§ 4 - 3	电平衡式变送器	4 - 6
§ 4 - 4	矢量机构力平衡式变送器	4 - 43
§ 4 - 5	输入、输出转换组件	4 - 55
§ 4 - 6	电/气转换器	4 - 63

第五章 模拟信号的控制与执行

§ 5 - 1	最简单的二位式调节器	5 - 1
§ 5 - 2	普通型PID调节器	5 - 4
§ 5 - 3	电压整定型调节器	5 - 47
§ 5 - 4	特种调节器	5 - 74
§ 5 - 5	与计算机联用的调节器	5 - 81
§ 5 - 6	执行器	5 - 86

第一章 绪 论

§ 1-1 工业过程测量和控制

(Industrial-Process Measurement and Control)

所谓过程，即完成物理或化学变换或一系列这种变换的一组操作。从能量和信息角度看，物质或能量的传送、信息的传递均可当作过程。实际上，任何生产过程，一般都有一个“物质流程”和一个“信息流程”。物质流程是从原料经过传送、加工到半成品或成品所联系起来的过程；信息流程则是通过操作管理人员对生产过程状况进行观察、测量，将获取的信息经过分析判断后，对生产过程作出的相应的控制的信息的传递过程。

就现有的工业过程来看，大体可以分成以下几种典型的过程：

1、连续生产过程：固体和纤维状产品的连续生产过程，主要有冶炼、轧钢、纺织、造纸、橡胶等工业生产；液态和气态产品的连续生产过程，主要有化学、炼油；石油化工、热力发电、食品工业等。这些生产，基本上是自动连续进行的。

2、非连续生产过程：单个产品的加工过程，主要有机械、电子、仪表、食品、轻工等。这些生产的自动化是循环动作或流水作业。

3、粉料物质的加工生产过程：主要有水泥、选矿、制药、食品、饲料等工业生产。

4、物料输送和调度管理生产过程：主要有油田和气田的开采，石油和天然气的长管输送，城市上下水道和煤气的集中管理等。

对生产过程状况进行测量和控制，是实现生产过程自动化的重要手段。而实现测量和控制的技术工具，则是过程检测控制仪表。因此，在工业生产中，通常都是用检测控制仪表来实现生产过程的自动测量、自动控制、自动保护，代替人的部分重复劳动，使工业生

产过程达到高精度、高速度、高效率。这就是通常所说的工业自动化。

由此可见，设计研究生产过程检测控制仪表装置和应用，具有十分重要的意义。“工业仪表自动化”专业的专业内容正是“过程控制仪表装置的设计研究及其在系统中的应用。”它和国际电工委员会的第65技术委员会（IEC/TC65）相对应。（关于IEC的情况见附录）

“过程检测控制仪表”，国内习惯称作“工业自动化仪表”。它是实现生产过程自动化所需的各种信息工具。一个自动控制系统，从信息角度来看，是具有信息获取、转换、显示、处理、传送和执行等功能的仪表组合体。因此，由过程检测与控制仪表装置所组成的自动控制体系，根据我国的实际情况，可以大体以如下框图来构成。（图1-1）。

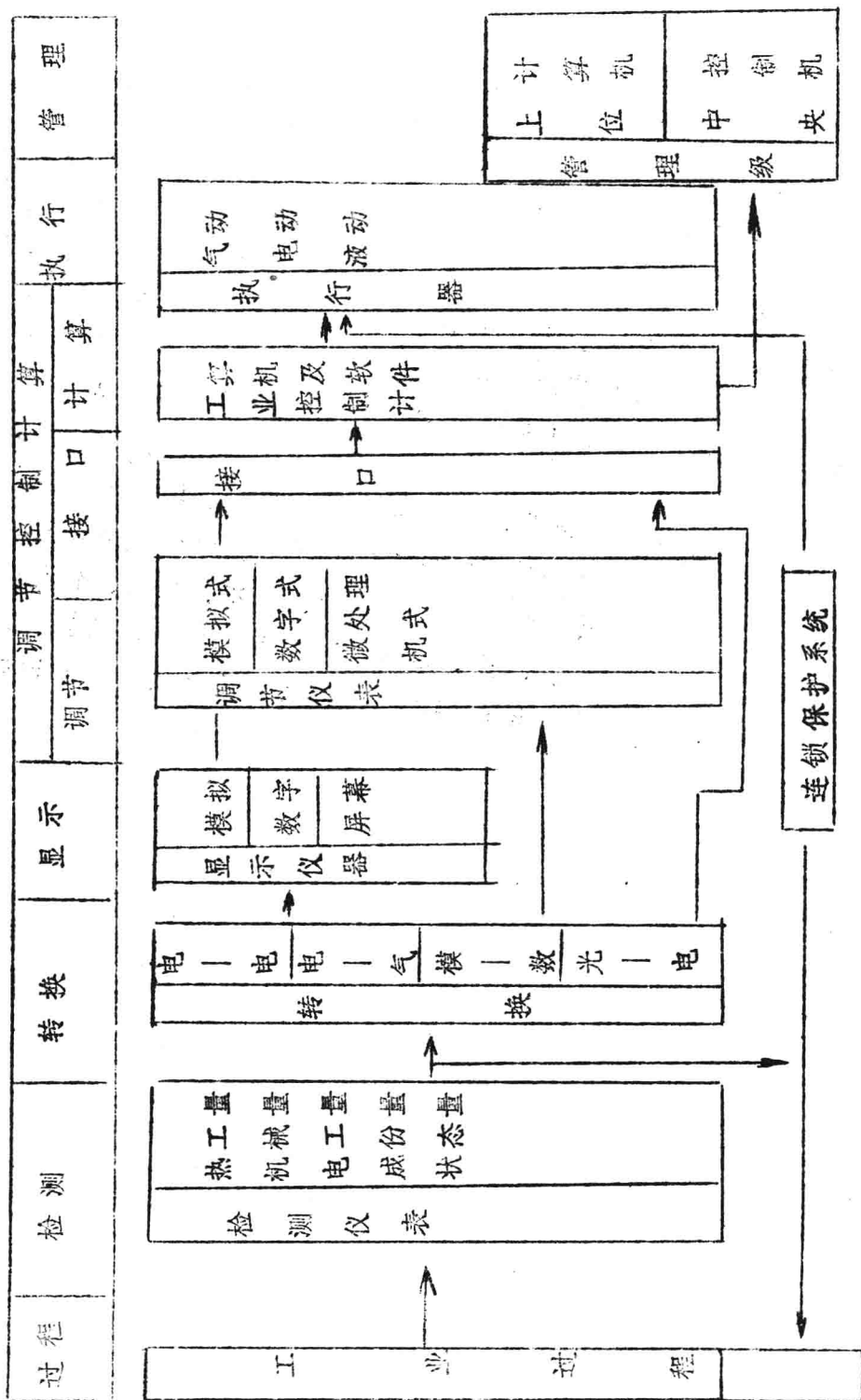


图 1-1 过程检测控制仪表组成的自控体系

由上图可见，它是以功能为基础纵横结构。包括了模拟技术与数字技术，并以模拟仪表为基础。能够灵活地组合各种不同水平的自控系统，适用于大、中、小型企业的过程自动化。如果仪表功能能够组件化、模块化、结构插件化和整体标准化，那么，上述体系就能灵活地迅速地按积木方式组成各种自动控制系统。

§ 1-2 系统元件

(Elements of Systems)

所谓系统元件，即工业过程检测控制仪表。它是实现生产过程自动化所需的各种不可缺少的信息工具。因而它的发展是随自动化技术的发展而发展的。

年 代	控制方式	自动化理论	仪表装置	仪表自动化水平
30~50年代	单变是调节与控制	经典控制理论 (反馈控制)	基地式仪表 (就地)	单参数测量, 单机自动化
60年代	多变量调节 与控制	现代控制理论	单元组合 式仪表	按功能设计 仪表, 机组 自动化
70年代	大系统与 智能控制	大系统理论	集散型综合 控制装置	过程控制与 生产管理相 结合, 全厂 自动化

有人把过程检测控制仪表的发展过程，形象地比喻为：“由点到线，由线到面”，甚“由面到体”的变革过程。即把五十年代的基地式仪表比作“点”，那么六十年代的单元组合仪表就是“线”。而七十年代的集中分散型综合控制系统装置便可以说是发展到了“面”。现在又出现了“由面到体”的发展趋势。如由太空照相技

术转移到医学上来的计算机诊断摄影仪它不再是通常的x摄影照相而是拍摄各种断层图象，测量人体内的x射线吸收量，由计算机根据定量数据制作射线分布图。这样得到的不再是过去x光照片上的阴影浓淡图象，而是根据数值显示的人工合成图象。又如人体全身扫描仪、超声诊断仪等，均能从人工合成图象上来观察和分析人的骨骼、软组织和器官的状况。由此可以看到，由过去的单个仪表发展到系统成套的仪表装置，跳出了过去一个个孤立地测量控制的框框，树立了从系统的角度全面综合处理过程控制的方法，使整个生产过程控制系统成为有机的整体。因此，在设计研究仪表装置硬件的同时，也要研究便于应用的操作技术和方法。

从过程控制仪表角度来看，生产过程的局部自动化和综合自动化之间的基本区别之一是，使用了控制计算机作为信息处理工具。虽然，计算机在局部自动化时就已经被采用，但它是处在离线情况下工作，没有组合在控制系统之中，实现在线实时处理信息，代替了操作人员进行过程控制，所以它被称为“控制计算机”。但是就目前大多数国家工业过程来说，过程控制仪表的现状基本上还处于常规模拟控制仪表为主体的过程控制，属局部自动化阶段。但对于新建的大型企业来说，则正在此基础上向计算机过程控制和综合自动化过渡。

从以上情况，我们还可以看到，工业生产过程的自动化，它对过程控制仪表的性能要求经历了三个发展阶段：

第一阶段：要求仪表具有基本的测量性能，如测量范围、精度、灵敏度、线性、重复性、稳定性及反应速度等等。

第二阶段：进一步要求仪表具有良好的可靠性和使用寿命，以适应仪表使用环境的要求以及测量对象周围条件变化对稳定性的影响。

第三阶段：要求仪表具有良好的商品价值。因为使用者对仪表性能的高要求，必然要涉及到仪表性能和其价值之间的比值关系。而这就要求在设计制造和安装使用等方面进行系统考虑，从而使仪表不仅具有比较满意的基本性能和相当高的可靠性，而且要结构简单，

使用方便、容易维修、成本低、外观美、寿命长、安全性能好、经济性能好等。

我国过程控制仪表的水平还相当落后。目前，尚处于由第一阶段向第二阶段过渡时期。为了加速我国过程控制仪表的发展，制订我国仪表分类网要是必须的。

根据上述自动控制构成体系，结合我国情况，可将过程检测控制仪表分类如下：

过程检测控制仪表分类

(一)
检测类
(信息获取工具)

热工量——温度、压力、流量、物位。
机械量——(重量(力)、尺寸(位移、角位移)、速度(转速)、振动(加速度)。
成分量——化学成分、浓度、粘度、温度、水份、密度、酸碱度等
电工量——电压、电流、功率等。
状态量——工作机械运转状态(启、停)、生产设备异常状态(过热、变形等)产品在线监视检查(表面质量等)

(二)
转换类
(信息转换工具)

电压——电流
电压——频率
模拟——数字
电——气——液
光——电

(三) 显示类 { 模拟式——动圈式、自动平衡式、气动式。
 (信息显示工具) { 数字式——频率计、数字积算器、巡回检测
 屏幕式——光柱显示仪、图符显示仪 (CRT)

(四)
 调节计算类
 (信息处理工具)

调节器 { 附加调节器
 简易调节器
 单元组合式
 组装仪表
 智能式

计算机 { 计算机
 软件
 外部设备

接口 { 输入通道
 输出通道
 常规接口
 专用接口

(五)
 传送类
 (信息传送工具)

{ 多路信号输入输出装置
 遥测通讯遥控装置
 通信装置

(六)
 执行器类
 (信息执行工具)

{ 电动执行器——直行程、
 气动执行器 角行程
 液动执行器
 自力式执行器

(七)

连锁保护系统——自动保护装置

(八)

其他——仪表屏、柜、台、箱等。

§ 1 - 3 我国过程控制仪表概况:

现在, 我们来回顾一下我国过程检测控制仪表的发展情况。半殖民地半封建的旧中国, 工业极其落后, 过程控制仪表无从谈起, 基本上是一个空白。解放以后, 开始是仿造外国产品, 首先是苏联的产品, 如 MIE 动圈毫伏计, $\Phi nn-09$ 电子电位差计, BTN 电站电子调节仪表等等。一九五八年, 我国开展了电、气两套单元组合式检测、调节成套仪表的研究、试制工作。以后逐步开始自行设计过程控制仪表, 取得了很大成绩, 但十年浩劫所造成的损失却是无法估计的。下面就电动单元组合式仪表 (DDZ 型) 在我国的发展作简要讨论。在我国 DDZ 型仪表已发展到三种型式了。

大家知道, DDZ-I 型仪表的技术和结构特点是: 从电子管作为基本的电子元件, 交流分散供电, 单元与单元之间采用 $0 \sim 10 \text{ mA}$ 的直流传输信号。在系统结构上调节、显示、操作三种功能在结构上是互相分离的。同时调节器采用多单元组合制, 例如要组合一个 PID 调节器, 必须采用一个比例单元和两个时间单元。在当时, 相对于基地式仪表来说, 在灵活性、适应性以及生产管理, 使用维修方面有了进步, 但对于多回路、复杂系统, 要求集中控制的场合, 则有占地面积大、操作整定麻烦等不足。DDZ-I 型仪表由变送器部分、定值、器调节器部分, 辅助部分和执行机构部分等四大部分组成。整套仪表的系统示意图如下 (图 1 - 2)

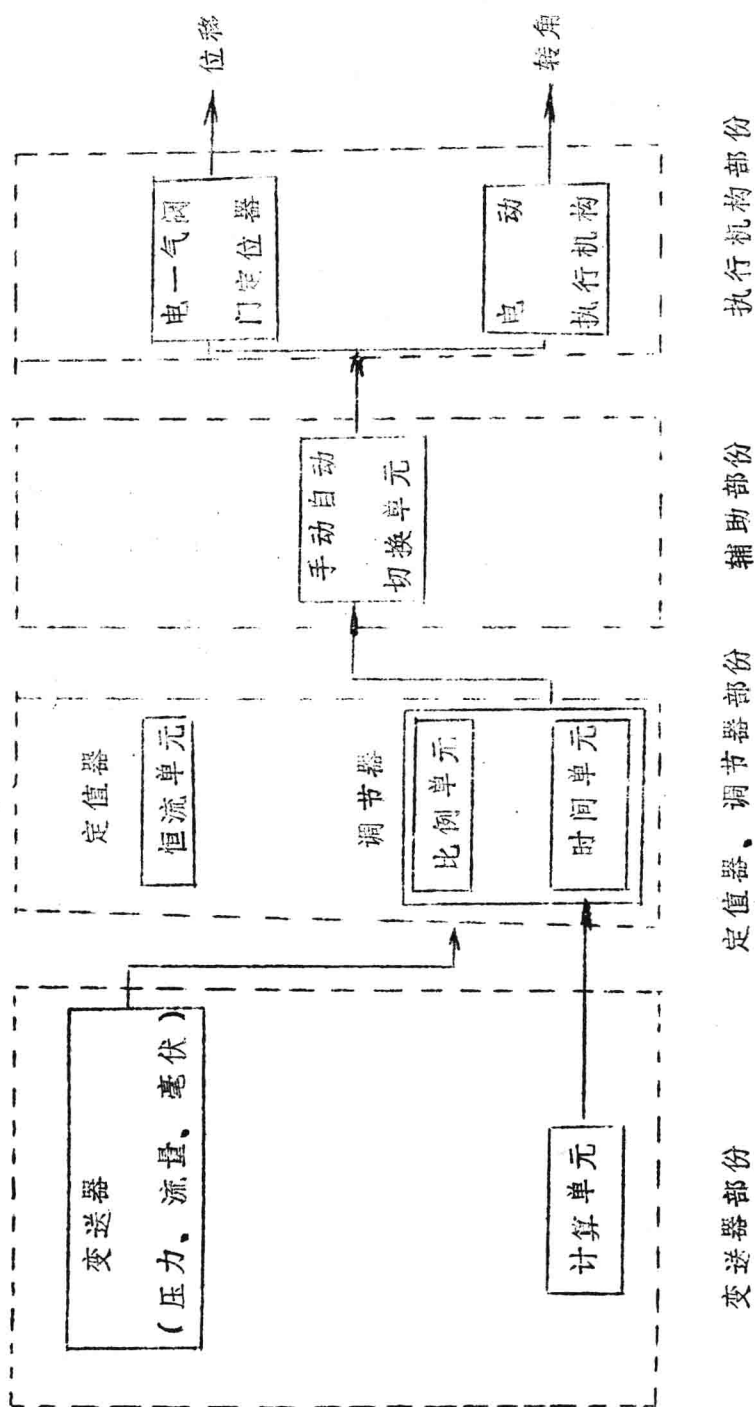


图 1 - 2 DDZ-I 型结构系统图

一九六五年，我国开始DDZ-II型仪表的研制工作。DDZ-II型仪表在技术和系统结构上的特点是：以晶体管作为基本的电子元件，交流分散供电，仍采用0~10mA直流电流作为统一的传送信号。鉴于DDZ-I型仪表功能分离带来的不足之处，DDZ-II型仪表，把调节、显示、操作等功能合并在一个单元结构里（如DTL型显示操作PID调节器）。DDZ-II型仪表还继承了DDZ-I型仪表力平衡变送器原理、执行机构位置反馈原理。并在具体结构上有很大的改进。单元体积大大缩小（同样一个PID调节器，DDZ-II型占盘面积比DDZ-I型缩小了六倍）。经过十几年的使用，几经改进，目前已日臻完善与成熟，成了我国过程控制仪表的主导之一。DDZ-II型仪表，按照各单元在自动控制系统中的作用和特点将全套仪表分为变送单元、转换单元、计算单元、显示单元、给定单元、调节单元、辅助单元和执行单元等八大类。DDZ-II型仪表还采用了0~10mV和0~2V直流电压信号作为辅助联络信号，以便于和其他各种仪表配套使用。DDZ-II型仪表的统一信号可以通过电/气转换器转换成气动单元组合仪表的统一信号（0.2~1kgf/cm²），驱动QDZ仪表的行程执行器或气动调节阀。0~10mA D.C电流还可以通过电/气阀门定位器直接操作气动执行器。DDZ-II型电动单元组合仪表系统示意图如下（图1-3）。

在DDZ-II型仪表的基础上,我国又研制了DDZ-III型仪表。它克服了DDZ-II型仪表性能和运行中的一些缺点,使仪表进一步完善。和DDZ-II型仪表比较如下:

比较项目	DDZ-II型	DDZ-III型
①信号制	0~10mA d.c.	4~20mA d.c.
②传输方式	串联制	并联制
③变送器	四线制	两线制
④电气元件	分立元件	集成元件
⑤供电方式	单独供电	集中供电,并有断电备用电源
⑥防爆	隔爆型	安全火花型
⑦温度变送器	非线性化电路	线性化电路
⑧差压变送器	双杠杆机构	矢量机构
⑨手动方式	硬手动	硬手动和软手动
⑩自动—手动 切换	先需平衡	直接切换(勿需平衡)
⑪调节器	无保持电路	有保持电路
⑫与计算机配合	无	可以配合
⑬调节器指示	偏差指示	全刻度指示及偏差指示
⑭安装费用	较高	较低
⑮可靠性	较低	较高

从上表可见,DDZ-III型仪表具有一些新的特点。

1、采用了国际标准信号制。其优点是电气零点不是从零开始,不与机械零点重合,容易识别断电、断线故障。为现场变送器实现两线制创造了条件,有利于安全防爆。

2、采用了集成电路元件,使得仪表的稳定性、精度、可靠性得到提高,并由于集成电路具有机动灵活的特点,使调节器的功能得到扩大。

3、采用24伏直流集中供电,为仪表的防爆、实现二线制创

造了条件，并在工频电源停电情况下，在一定时间内照常工作。

4、在结构上更为合理。例如，调节器有全刻度指示和偏差指示，大表头。指示醒目，便于监视。自动、手动切无平衡无扰动方式进行，并有硬手动和软手动两种方式。整套仪表可构成安全火花型防爆系统等。

按仪表在系统中的作用和特点，我国研制的DDZ-III型仪表大致分为：变送单元、转换单元、显示单元、调节单元、计算单元、安全单元、辅助单元等单元。

根据上述讨论，DDZ-II型和DDZ-III型仪表都是功能合一的“全指示调节器”。对于多参数、多回路综合调节、对应于几个输入参数而得出一个运算输出，或者把一个结果去控制几个操作端，或者根据工艺要求在不同工况下切换相应的调节器工作，而显示操作仍然是一个。这时，就显得不灵活、不适应了。因此，又要再搞“功能分离”的结构方案，将调节和显示操作分离开来。同时，大家知道，计算机用于工业控制有直接数字控制（DDC）、给定值控制（SPC）、程序控制、监视管理等等。一般说来，这些控制都免不了与模拟量仪表发生联系，如信息的取得，控制量的改变都离不开模拟量仪表。直接数字控制在一些关键的回路上，往往也是用模拟量调节器来作后备。给定值控制就更不用说了，它本来就是在模拟量调节系统的基础上进行工作的。因此，由模拟量组成的调节回路与工业控制计算机之间有更多的往返传输信息，回路一多，这种信息传输导线的数量相当可观，同时，仪表侧和计算机侧都有大量的接线端子，给安装、布线、检查、维护带来了巨大的工作量，同时还增加了故障机率。所以必须进一步全盘考虑模拟仪表与工业控制机的兼容观性问题。

此外，随着自控系统的越来越庞大，越来越复杂，所用的过程控制仪表、显示、操作部件数量越来越多，占盘面积大，操作把手多。带来许多实际不利因素。就要求利用综合技术，如功能分离模拟量仪表，程序控制技术，数字逻辑技术，字符图象显示技术，数