



高等学校教材

# 电动控制仪表及装置

吴勤勤 主编  
黄祯地 审定

化学工业出版社

## 内 容 提 要

《电动控制仪表及装置》是化工类高等院校生产过程自动化专业及工业自动化仪表专业的一门教材。本书详细讨论了模拟式控制仪表及装置(电动单元组合仪表和组装式电子综合控制装置)以及数字式控制仪表及装置(可编程调节器和分散型综合控制系统)的构成、原理、结构、功能和使用方法。此外,书后还附有部分思考题和习题,供读者学习时参考。

本书除作大专院校自动化及仪表专业的教材外,也可供技术人员和仪表工人阅读

高等学校教材

### 电动控制仪表及装置

吴勤勤 主编

黄祯地 审定

责任编辑:徐世峰

封面设计:任辉

\*

化学工业出版社出版

(北京和平里七区十六号楼)

化学工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

\*

开本787×1092<sup>1</sup>/<sub>16</sub>印张22 插页1 字数552千字

1990年11月第1版 1990年11月北京第1次印刷

印 数 1—3,700

ISBN 7-5025-0774-4/G·221 (课)

定 价 4.60元



## 前 言

本书是在1980年出版的高等学校试用教材《电动调节仪表》基础上，根据1987年化学工业部教育司关于修订高校化工类教材通知精神所制订的教材大纲修订的。

《电动控制仪表及装置》共分两篇。第一篇为模拟式控制仪表及装置，主要讲述电动单元组合仪表和组装式电子综合控制装置；第二篇为数字式控制仪表及装置，主要讲述可编程调节器和分散型综合控制系统。本书对第一版教材作了适当的增删，删除陈旧的、繁琐的内容，新增了有代表性的、改进型和新型仪表及装置，以适应控制仪表的发展需要。与第一版比较，本教材突出了仪表的构成原理和分析方法，注重理论联系实际，并力求在内容上反映自动化仪表的先进水平。

修订工作由吴勤勤负责。参加教材修订的有吴勤勤（概论、第一章、第二章第一、二节、第三～七章、第九章），张雪申（第八章、第十章），李建华（第二章第三节）。最后由吴勤勤和张雪申进行整理。参加本书第一版编写的有曹润生、张文琳、朱子龙和赵玉珠。

全书由浙江大学黄楨地审阅。在本书修订过程中，中国纺织大学王士杰教授提出了宝贵的意见，并给予热情的帮助。上海调节器厂、上海自动化仪表一厂、上海光华仪表厂、四川仪表总厂、西安仪表厂、天津自动化仪表厂和吉林化学工业公司仪表厂等单位提供了部分资料。修订工作还得到了中国仪器仪表学会过程检测控制仪表学会（吴斌昌等）的关心和支持。对此谨致以深切的谢意。

由于编者水平有限，时间仓促，书中难免有不当和错误之处，恳切希望读者批评指正。

编者

1989年8月

# 概 论

## 第一节 电动控制仪表及装置的发展和分类

控制仪表是实现生产过程自动化的重要技术工具。在自动化系统中,检测仪表将被控参数转换成测量信号后,除了送显示仪表进行指示和记录外,还需送控制仪表,以便控制生产过程的正常进行,使被控参数达到预期的要求。

这里所指的控制仪表包括:在自动化系统中广泛使用的调节器、变送器、运算器、执行器等,以及各种新型控制仪表和装置。

在工业部门中常用的自动控制仪表有气动控制仪表和电动控制仪表。气动控制仪表的发展和已有数十年的历史。它的特点是结构简单、价格便宜、性能稳定、可靠性高,且在本质上是安全防爆的,特别适用于石油、化工等有爆炸危险的场所。电动控制仪表的出现要晚些,但由于其信号传输、放大、变换、处理比气动仪表容易得多,又便于实现远距离监视和操作,还易于与计算机等现代化技术工具联用,因而这类仪表的应用越来越广泛。电动控制仪表的防爆问题,由于采取了安全火花防爆措施,也得到了很好的解决,它同样能应用于易燃易爆的危险场所。

电动控制仪表可按其信号类型和结构形式来分类。

### 一、按信号类型分类

按信号类型电动控制仪表可分为模拟式和数字式两大类。模拟式控制仪表在我国已经历多次升级换代,在设计、制造、使用上均有较成熟的经验。长期以来,它广泛地应用于各工业部门。

近十多年来,随着微电子技术和计算机技术的迅速发展,数字式控制仪表和新型计算机控制装置相继问世,并越来越多地应用于生产过程自动化中。这是因为这些仪表和装置是以微型计算机为核心,其功能完善,性能优越,它能解决模拟式仪表难以解决的问题,满足现代化生产过程的高质量控制要求。

数字式仪表虽然在控制功能、精度等方面均优于模拟式仪表,但模拟仪表一般价格较低,线路较简单,操作方便,使用者易于掌握,而且现在的变送器和执行器大都是模拟式的,因此模拟控制仪表目前我国仍是主要的自动化技术工具。实际上,这类仪表也在继续发展,性能也有所提高。

### 二、按结构类型分类

按结构类型电动控制仪表可分为基地式控制仪表、单元组合式控制仪表、组装式综合控制装置以及分散型综合控制系统。

1. 基地式控制仪表是以指示、记录仪表为主体,附加控制机构而组成。它不仅能对某参数进行指示或记录,而且还具有控制功能。基地式仪表一般结构比较简单,常用于单机自动化系统。

目前普遍使用的 XCT 系列动圈式控制仪表和 TA 系列简易式电子调节器即属此类仪表。前者采用分立元件,是在动圈式指示仪表的基础上发展而来;后者采用了集成电路与分立元

件兼用的方式，其线路典型、通用，且制成组件。这两种仪表均具有多种控制功能，可输出开关信号或连续电流信号。

2. 单元组合式控制仪表是根据自动化系统中各个组成环节的不同功能和使用要求，将整套仪表划分成能独立实现某种功能的若干单元，各单元之间用统一的标准信号来联系。使用中可按照生产工艺的需要，将这些单元进行组合，构成多种多样的、复杂程度各异的自动检测和控制系统。

电动单元组合仪表不仅可以灵活地组成各种控制系统，还可以和气动单元组合仪表、巡回检测装置以及工业控制机等配合使用。这套仪表的制造、使用、维护工作也比较方便，因此在石油、化工、轻工、纺织、冶金、电力等工业部门得到了广泛的应用。

我国生产的电动单元组合（拼音字母为DDZ）仪表经历了三个发展阶段：DDZ-I型、II型和III型。六十年代初研制了DDZ-I型仪表，它是采用电子管的，体积大、笨重、耗电量大，易于引燃引爆。随着半导体器件和电子技术的发展，不久就被DDZ-II型所代替了。II型仪表是以晶体管为主要器件，不仅体积缩小、重量减轻，而且性能也得到改善。七十年代中期推出的DDZ-III型仪表是以线性集成电路作为核心器件，采取了安全火花防爆技术，因而精度较高，稳定性和可靠性也较好，多年来对III型仪表的不断改进，其性能已日臻完善，从而扩大了它的应用范围。二十年来，DDZ-II型、III型仪表的大量生产和广泛使用，对我国工业生产自动化起了有力的促进作用。

近几年，我国在总结和继承模拟式单元组合仪表经验的基础上，吸取国外同类仪表的先进技术，正在设计和研制新型系列的数字化单元组合仪表—DDZ-S系列仪表。这套仪表将模拟技术和数字技术相结合，并以数字技术为主。其主要特点是数字化、智能化、微位移（固态）化，因而是一种先进的控制仪表，预计在今后若干年内将成为我国工业自动化仪表的主导产品。

3. 组装式电子综合控制装置是在单元组合式仪表基础上发展起来的一种功能分离、结构组件化的成套仪表装置。它以模拟器件为主，兼用了模拟技术和数字技术，能与工业控制机、程控装置、屏幕显示器等新技术工具配合使用，因此这种控制装置特别适用于大型复杂工艺设备的自动化。

由于现代化的大型企业要求组成各种复杂的控制系统及集中的显示操作，这就需要将控制功能和显示操作功能分离开来。因此组装式综合控制装置在结构上分为控制机柜和显示操作盘两大部分。控制柜内插入若干个组件箱，组件箱中又插入若干块组件板。组件板在机柜中是高密度安装的，结构十分紧凑。而且控制机柜可另行安置，工作人员利用一台屏幕显示、操作装置即可实现对生产的集中显示和操作，从而大大改善了人-机联系。

我国生产的TF（T表示调节，F表示功能分离）型控制装置具备了上述特点。这种装置可根据系统要求，在制造厂预先组装好，以成套设备的形式提供给用户，从而使自控系统的现场施工设计、系统安装和调试的工作量显著减少，也使维护、检修工作大为简化。

4. 分散型综合控制系统是以微型计算机为核心，在控制技术（Control）、计算机技术（Computer）、通信技术（Communication）、屏幕显示技术（CRT）等四“C”技术迅速发展的基础上研制成的一种新型控制系统。它的设计思想是分散控制、集中管理。

六十年代以后，工业控制计算机开始应用于生产过程中。计算机控制系统虽易实现复杂的控制规律，能集中显示和操作。但当时的计算机体积大、价格高。一台计算机一般要控制几十个甚至上百个回路，这样虽能充分发挥计算机的处理能力，但客观上却造成了“危险”过

于集中。一旦出现故障，生产将陷于瘫痪。为了弥补这一缺陷，提高系统可靠性，可采用双机并行工作，互为备用，或用模拟式控制仪表作为事故后备。但这样价格昂贵，故未能推广使用。

七十年代初期，由于大规模集成电路技术取得了突破，出现了性能好、成本低的微型计算机。人们开始采用多台微机代替一台工业控制机控制生产过程。每台微机控制的回路减少为8~16。这样，一台微机出现故障只影响局部范围，从而使“危险”分散。再将各台微机用数据通信电缆联系起来，并同上一级计算机和显示、操作装置等相连，组成了能适应不同过程要求的分级控制系统。这就是通常所说的分散型综合控制系统，或称为集中分散型控制系统（简称集散系统）。

“分散”指的是由多台专用微机（例如分散型控制系统中的基本控制器或其它数字式调节器）分散地控制各个回路，这可提高系统的实时性和可靠性，而且这些专用微机的组态和操作都十分方便。此外，整套装置在结构上是分散的，用户可根据需要灵活组成各种系统，因而分散控制系统的通用性也很强。

“集中”则是指集中监视、集中操作和管理整个生产过程。这些功能由上一级的监控、管理计算机和显示操作站来完成。

八十年代以来，由于各种高技术的飞速发展，使得原有的分散控制系统不断扩展、完善。各厂家纷纷推出功能繁多、系列齐全、配接灵活、扩展方便的先进控制系统，并在实际应用中取得了明显的社会效益和经济效益。

随着微机芯片价格的进一步下降，以致用它来控制一个回路的成本和常规模拟式调节器的价格相接近，于是就出现了单回路数字式调节器（又称为单回路可编程调节器）。它是单元组合式仪表向微机化发展和计算机控制向分散化发展，两者相结合的产物。显然，这类调节器用于控制生产过程，使“危险”更为分散。

但是，由一个调节器来控制一个回路，在经济上并不合算。近几年一些厂家在权衡了仪表的性能、可靠性和价格之后，推出了2~4回路的可编程调节器，以获得较高的性能、价格比。

与此同时，以微机为核心的可编程控制器（PC）也得到了迅速发展。这种控制器以开关量控制为主，用于程控装置、工业机器人、数控机床、加工制造业、联锁保护系统等方面。现在的一些产品，功能更为丰富，已具备PID等反馈控制功能和数据处理能力，并具有通信接口，可和计算机配合使用。因此这类控制器将在我国工业部门得到广泛的应用。

从八十年代开始，我国陆续引进了国外先进的分散型综合控制系统，首先应用于大型企业。同时，国内的一些研究、制造单位也着手开发了规模较小的同类型控制系统（包括可编程调节器和可编程控制器），这些系统正在一些工厂、企业试用，以便取得经验，不断改进，扩大应用范围。

## 第二节 电动控制仪表及装置的信号制和传输方式

在自动化系统中使用的各类仪表，有的直接安装在现场的工业设备或工艺流程管路上，例如大多数的变送器、电-气转换器和执行器；另一些则安装在远离生产现场，无燃烧、爆炸危险的控制室内，例如指示记录仪表、运算器、调节器、监控仪表和工业控制机等。现场仪表一般彼此互不连接，它们只和控制室内的仪表相连。控制室内的各种仪表和装置则按系统结构以多种方式相组合。为了方便地把各类仪表和装置连接起来，构成各种控制系统，仪表

之间应该有统一的标准联络信号和合适的传输方式。

## 一、信号制

信号制（或信号标准）是指在成套仪表系列中，仪表之间采用何种统一联络信号来进行信号传输的问题。

采用统一的联络信号，不仅可使同一系列的各类仪表组成系统，而且还可通过各种转换器，将不同系列的仪表连接起来，混合使用，从而扩大了仪表的应用范围。此外，由于各种参数被转换为统一信号，因此各类仪表同工业控制机等先进技术工具配合使用，也较为方便。

### （一）联络信号的类型

控制仪表和装置常使用以下几种联络信号：

对于气动控制仪表，国际上已统一使用 20~100kPa 气压信号，作为仪表之间的联络信号。

对于电动控制仪表，其联络信号常见的有模拟信号、数字信号、频率信号等。

工业上广泛使用模拟式仪表，所以无论是从现场仪表传输至控制室，还是控制室内各仪表之间的联络信号，用得最多的是模拟信号。

由于一些变送器（例如涡轮流量计）直接输出频率信号，而频率信号的抗干扰能力强，也容易实现数字化，故频率信号也是一种实用的传输信号。

数字式仪表之间则采用数字信号进行传输。数字信号传送精度高，可用少量传输线快速传送大量信息。随着数字式仪表和计算机控制装置的日益广泛使用，数字信号已成为十分重要的传输信号。

在实际应用中，一些数字式仪表（如单回路可编程调节器）往往要同模拟式仪表相配合使用，因此，这些数字式仪表除可用数字信号进行联络外，还可输入、输出模拟信号。

鉴于模拟信号是自动化仪表和装置中所采用的主要联络信号，故本节予以着重讨论，数字信号将在分散型综合控制系统章节中另作说明。

### （二）电模拟信号制的确定

电模拟信号有交流和直流两种。由于直流信号具有不受线路中电感、电容及负载性质的影响，不存在相移问题等优点，故世界各国都以直流电流或直流电压作为统一联络信号。

从信号取值范围看，下限值可以从零开始，也可以从某一确定的数值开始；上限值可以较低，也可以较高，取值范围的确定，应从仪表的性能和经济性作全面考虑。

不同的仪表系列，所取信号的上、下限值是不同的。例如，DDZ-I 型仪表采用 0~10mA 直流电流作为统一联络信号，DDZ-III 型仪表采用 4~20mA 直流电流和 1~5V 直流电压作为统一联络信号；组装式综合控制装置则采用 0~10V 直流电压的联络信号，并且在装置中考虑了 0~10mA 及 4~20mA 直流电流信号与 0~10V 直流电压信号的相互转换问题。

信号下限从零开始，便于模拟量的加、减、乘、除、开方等数学运算和使用通用刻度的指示、记录仪表；信号下限从某一确定值开始，即有一个活零点，电气零点与机械零点分开，便于检验信号传输线有否断线及仪表是否断电，并为现场变送器实现两线制提供了可能性。

电流信号上限大，产生的电磁平衡力大，有利于力平衡式变送器的设计制造。但从减小直流电流信号在传输线中的功率损耗和缩小仪表体积，以及提高仪表的防爆性能来看，希望

电流信号上限小些。

在对各种电模拟信号作了综合比较之后，国际电工委员会（IEC）将电流信号 4~20mA（DC）和电压信号 1~5V（DC），确定为过程控制系统电模拟信号的统一标准。

## 二、电信号传输方式

### （一）模拟信号的传输

信号传输指的是电流信号和电压信号的传输。电流信号传输时，仪表是串联连接的，而电压信号传输时，仪表是并联连接的。

#### 1. 电流信号传输

如图 0-1 所示，一台发送仪表的输出电流同时传输给几台接收仪表，所有这些仪表应当串联。DDZ-Ⅰ 仪表即属于这种传输方式。图中， $R_o$  为发送仪表的输出电阻。 $R_{cm}$  和  $R_i$  分别为连接导线的电阻和接收仪表的输入电阻（假定接收仪表的输入电阻均为  $R_i$ ），由  $R_{cm}$  和  $R_i$  组成发送仪表的负载电阻。

由于发送仪表的输出电阻  $R_o$  不可能是无限大，在负载电阻变化时，输出电流也将发生变化，从而引起传输误差。

电流信号的传输误差可用公式表示为

$$\varepsilon = \frac{I_o - I_i}{I_o} = \frac{I_o - \frac{R_o}{R_o + (R_{cm} + nR_i)} \cdot I_o}{I_o} = \frac{R_{cm} + nR_i}{R_o + R_{cm} + nR_i} \times 100\% \quad (0-1)$$

式中  $n$  为接收仪表的个数。

为保证传输误差  $\varepsilon$  在允许范围之内，应要求  $R_o \gg R_{cm} + nR_i$ ，故有

$$\varepsilon \approx \frac{R_{cm} + nR_i}{R_o} \times 100\% \quad (0-2)$$

由式 (0-2) 可见，为减小传输误差，要求发送仪表的  $R_o$  足够大，而接收仪表的  $R_i$  及导线电阻  $R_{cm}$  应比较小。

实际上，发送仪表的输出电阻均很大，相当于一个恒流源，连接导线的长度在一定范围内变化时，仍能保证信号的传输精度。因此电流信号适于远距离传输。此外，对于要求电压输入的仪表，可在电流回路中串入一个电阻，从电阻两端引出电压，供给接收仪表，所以电流信号应用也较灵活。

电流传输也有不足之处。由于接收仪表是串联工作的，当一台仪表出故障时，将影响其它仪表的工作。而且各台接收仪表一般皆应浮空工作。若要使各台仪表皆有自己的接地点，则应在仪表的输入、输出之间采取直流隔离措施。这就对仪表的设计和应用在技术上提出了更高的要求。

#### 2. 电压信号传输

一台发送仪表的输出电压要同时传输给几台接收仪表时，这些接收仪表应当并联，如图 0-2 所示。DDZ-Ⅱ 型各接收仪表之间和 TF 型装置机柜中各组件之间的信号传输，均属此种方式。

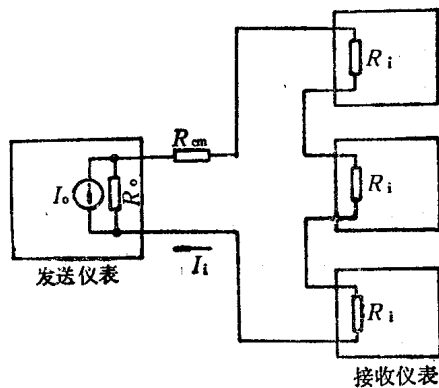


图 0-1 电流信号传输时仪表之间的连接



由于接收仪表的输入电阻  $R_i$  不是无限大，信号电压  $V_0$  将在发送仪表内阻  $R_0$  及导线电阻  $R_{cm}$  上产生一部分电压降，从而造成传输误差。

电压信号的传输误差可用如下公式表示：

$$\varepsilon = \frac{V_0 - V_i}{V_0} = \frac{V_0 - \frac{R_i}{n} \cdot V_0}{V_0} = \frac{R_0 + R_{cm} + \frac{R_i}{n}}{R_0 + R_{cm} + \frac{R_i}{n}} \times 100\% \quad (0-3)$$

为减小传输误差  $\varepsilon$ ，应满足  $\frac{R_i}{n} \gg R_0 + R_{cm}$ ，故有

$$\varepsilon \approx n \cdot \frac{R_0 + R_{cm}}{R_i} \times 100\% \quad (0-4)$$

式中  $n$  为接收仪表的个数。

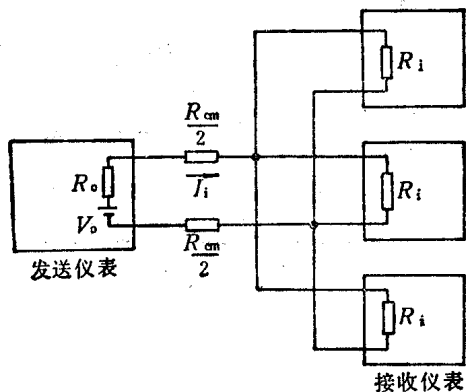


图 0-2 电压信号传输时仪表之间的连接

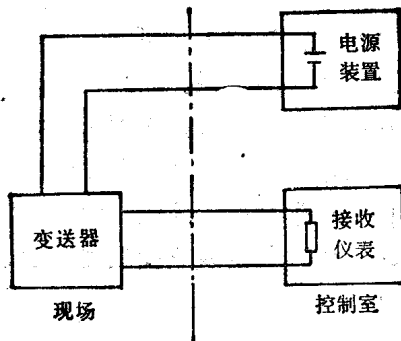


图 0-3 四线制传输

由式(0-4)可见，为减小传输误差，应使发送仪表内阻  $R_0$  及导线电阻  $R_{cm}$  尽量小，同时要求接收仪表的输入电阻  $R_i$  大些。

因接收仪表是并联连接的，增加或取消某个仪表不会影响其它仪表的工作，而且这些仪表也可设置公共接地点，因此在设计安装上比较简单。但并联连接的各接收仪表，输入电阻皆较高，易于引入干扰，故电压信号不适于作远距离传输。

## (二) 变送器与控制室仪表间的信号传输

变送器是现场仪表，其输出信号送至控制室中，而它的供电又来自控制室。变送器的信号传送和供电方式通常有如下两种：

### 1. 四线制传输

供电电源和输出信号分别用两根导线传输，如图 0-3 所示。图中的变送器称为四线制变送器。目前使用的大多数变送器均是这种形式。由于电源与信号分别传送，因此对电流信号的零点及元器件的功耗无严格要求。

在该传输方式中，若变送器的一个输出端与电源装置的负端相连，也就成了三线制传输。

## 2. 两线制传输

变送器与控制室之间仅用两根导线传输。这两根导线既是电源线，又是信号线，如图 0-4 所示。图中的变送器称为两线制变送器。

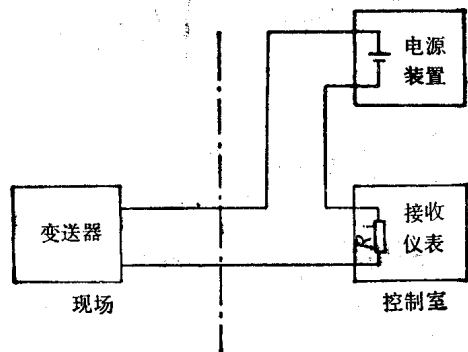


图 0-4 两线制传输

采用两线制变送器不仅可节省大量电缆线和安装费用，而且有利于安全防爆。因此这种变送器得到了较快的发展。

要实现两线制变送器，必须采用活零点的电流信号。由于电源线和信号线公用，电源供给变送器的功率是通过信号电流提供的。在变送器输出电流为下限值时，应保证它内部的半导体器件仍能正常工作。因此，信号电流的下限值不能过低。国际统一电流信号采用  $4\sim 20\text{mA}(\text{DC})$ ，为制作两线制变送器创造了条件。

## 目 录

## 概论

第一篇 模拟式控制仪表及装置——  
电动单元组合仪表和组装式电子综  
合控制装置

## 第一章 电动单元组合仪表概述…………… 1

第一节 电动单元组合仪表与控制  
系统…………… 1第二节 电动单元组合仪表特点、性能指  
标和品种分类…………… 1

## 一、DDZ-Ⅰ、Ⅱ型仪表的特点…………… 1

## 二、主要性能指标…………… 4

## 三、品种分类…………… 4

第三节 安全火花型防爆仪表的基本知识  
…………… 6一、安全火花型防爆仪表的基本  
概念…………… 6二、安全火花型防爆仪表的品种和防爆  
系统…………… 6三、安全火花型防爆仪表的使用环境  
温度…………… 7

## 四、仪表的防爆等级标志…………… 7

## 第二章 变送单元…………… 9

## 第一节 变送器的构成…………… 9

## 一、构成原理…………… 9

二、量程调整、零点调整和零点  
迁移…………… 10

## 第二节 差压变送器…………… 11

## 一、力平衡式差压变送器…………… 11

## 二、电容式差压变送器…………… 20

## 三、扩散硅式差压变送器…………… 29

## 第三节 温度(温差)变送器…………… 32

## 一、Ⅰ型温度(温差)变送器…………… 32

## 二、Ⅱ型温度(温差)变送器…………… 45

## 第三章 调节单元…………… 61

第一节 调节器的运算规律和构成  
方式…………… 61

## 一、概述…………… 61

## 二、PID调节器的运算规律…………… 61

## 三、PID调节器的构成…………… 6

## 第二节 Ⅰ型调节器…………… 69

## 一、概述…………… 69

## 二、输入电路…………… 70

## 三、自激调制式直流放大器…………… 71

## 四、PID反馈电路…………… 73

## 五、整机特性分析…………… 75

## 六、手动操作与自动跟踪电路…………… 81

## 七、输出限幅电路…………… 83

## 第三节 Ⅱ型调节器…………… 84

## 一、概述…………… 84

## 二、基型调节器…………… 86

## 三、特种调节器…………… 98

## 四、附加单元…………… 104

## 第四章 运算单元…………… 107

## 第一节 乘除器…………… 107

## 一、乘除器的构成…………… 107

## 二、Ⅰ型乘除器…………… 109

## 三、Ⅱ型乘除器…………… 118

## 第二节 开方器…………… 128

## 一、概述…………… 128

## 二、Ⅰ型开方器…………… 129

## 三、Ⅱ型开方器…………… 133

## 第五章 显示单元…………… 137

## 第一节 概述…………… 137

## 一、流量积算的基本概念…………… 137

## 二、电流-频率转换原理…………… 137

## 第二节 Ⅰ型比例积算器…………… 139

## 一、工作原理…………… 139

## 二、线路分析…………… 139

## 第三节 Ⅱ型比例积算器…………… 147

## 一、特点和工作原理…………… 147

## 二、线路分析…………… 148

## 第六章 执行单元…………… 154

## 第一节 概述…………… 154

## 第二节 Ⅰ型电动执行机构…………… 154

## 一、伺服放大器…………… 155

## 二、执行机构…………… 159

三、整机特性	163
第三节 Ⅱ型电动执行机构	164
一、伺服放大器的构成	164
三、校正回路	164
第七章 其它单元及电动仪表的应用	166
第一节 安全栅	166
一、概述	166
二、输入式和输出式安全栅	168
第二节 电-气阀门定位器	174
一、概述	174
二、组成及工作原理	175
三、防爆措施	176
第三节 电动单元组合仪表的应用	176
一、控制方案的拟定与仪表选择	176
二、控制系统构成举例	177
三、仪表静态配合系数的确定	179
第八章 组装式电子综合控制装置	185
第一节 概述	185
一、TF控制装置的特点	185
二、TF控制装置的基本组成	185
第二节 转换组件	186
一、电流输入转换组件	187
二、电流输出转换组件	188
第三节 调节组件	188
一、普通型PID调节组件	189
二、电压整定型PID调节组件	189
三、“手动-自动”切换组件及跟踪原理	198
第四节 计算组件	199
一、工作原理	199
二、线路分析	200
第五节 数字逻辑控制组件	201
一、固定监控器	201
二、可变监控器	203
第二篇 数字式控制仪表及装置	—

## 可编程调节器和分散型综合控制系统

第九章 可编程调节器	207
第一节 可编程调节器的基本构成	207
一、概述	207
二、基本构成	208
第二节 KMM可编程调节器	216
一、概述	216
二、组成	217
三、功能	219
四、编程方法和仪表投入	239
五、应用举例	248
第三节 SLPC可编程调节器	254
一、概述	254
二、程序结构和流程	254
三、功能	255
四、编程举例	266
第十章 分散型综合控制系统	269
第一节 分散型综合控制系统的基本构成	269
一、概述	269
二、基本构成	271
第二节 TDC-3000集散系统	274
一、TDC-3000系统概貌	274
二、基本控制器	279
三、多功能控制器	300
四、无中断自动控制系统	303
五、高速数据公路通信系统	307
六、过程接口单元	310
七、增强型操作站	312
八、TDC-3000BASIC管理系统	320
九、TDC-3000LCN	322
十、集散系统的可靠性	328
思考题与习题	332
附录 本书主要符号说明	338

# 第一篇 模拟式控制仪表及装置—— 电动单元组合仪表和组装式电子 综合控制装置

本篇以工业生产中广泛使用的电动单元组合仪表和组装式综合控制装置为例，阐述模拟式控制仪表及装置的特点、原理、结构和在系统中的应用，并对典型仪表线路作具体分析。

## 第一章 电动单元组合仪表概述

### 第一节 电动单元组合仪表与控制系统

由电动单元组合仪表构成的简单控制系统如图 1-1 所示。图中控制对象代表生产过程中的某个环节，控制对象输出的是被控参数，如压力、流量、温度等工艺参数。这些工艺参数首先由检测元件变换为易于传递的物理量，再经变送单元转换成相应的电信号，该信号一方面送到显示单元供指示或记录，同时又送到调节单元中，与给定单元送来的给定值相比较。调节单元按照比较后得出的偏差，以一定的运算规律，如比例、积分、微分等运算关系，发出控制信号，控制执行单元的动作，将阀门开大或关小，改变控制量，如生产工艺中的燃料油、蒸汽等介质流量的多少，直至被控参数与给定值相等为止。

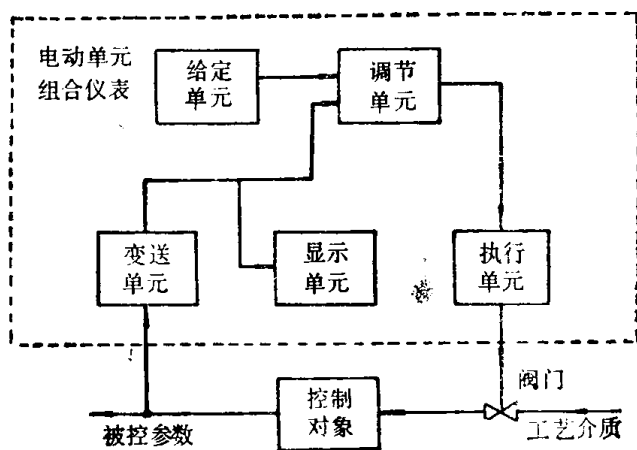


图 1-1 由电动单元组合仪表构成的简单控制系统方框图

从图 1-1 中可以看出，对于不同的控制对象只需更换一个或几个单元，如更换变送单元、调节单元等，就可以组成各种不同的控制系统。实际上，除了图中给出的几种基本单元外，还有可进行加、减、乘、除、乘方、开方等运算的运算单元，以及转换单元、安全单元等，从而可满足各种复杂控制系统的需要。

### 第二节 电动单元组合仪表特点、性能指标和品种分类

#### 一、DDZ-I、II型仪表的特点

DDZ-Ⅰ型和Ⅱ型仪表的品种及在系统中的作用基本相同。但是，Ⅰ型仪表是分立元件的隔离型仪表，而Ⅱ型仪表是集成电路的安全火花型防爆仪表。下面从电路元器件、信号制和传输方式、供电、仪表结构、功能以及防爆等方面，将两种仪表作一比较。

### (一) 电路元器件

Ⅰ型仪表采用晶体管等分立元件，线路较复杂，仪表的功耗较大。

Ⅱ型仪表中广泛采用低漂移、高增益线性集成电路，减少了仪表元件数量，简化了线路。从而提高了仪表的精度和可靠性。

### (二) 信号制及传输方式

Ⅰ型仪表以 $0\sim 10\text{mA}$ 的直流电流作为统一的标准信号。信号传输采用电流传送-电流接收的串联制方式，如图1-2所示。现场变送器与控制室仪表之间采用电流信号进行传输，而

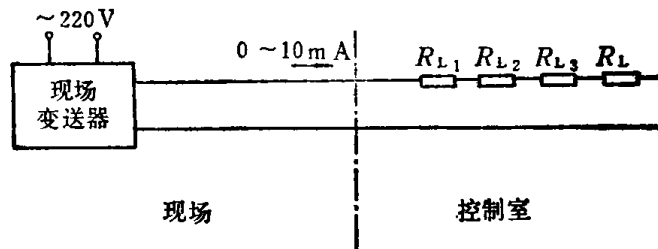


图 1-2 DDZ-Ⅰ型仪表信号传输示意图

控制室接受同一信号的各仪表则串联在电流信号回路之中。图中四个仪表分别用负载电阻  $R_{L1}$ 、 $R_{L2}$ 、 $R_{L3}$  及  $R_{L4}$  来表示。

Ⅱ型仪表的现场传输信号为 $4\sim 20\text{mA}$ 直流电流；控制室联络信号为 $1\sim 5\text{V}$ 直流电压。信号电流与电压的转换电阻为 $250\Omega$ 。信号传输采用电流传送-电压接收的并联制方式，如图1-3所示。进入控制室的传输信号为电流信号，该信号再通过电阻  $R_L$  转换成相应的电压信号，并联地传输给控制室各仪表。

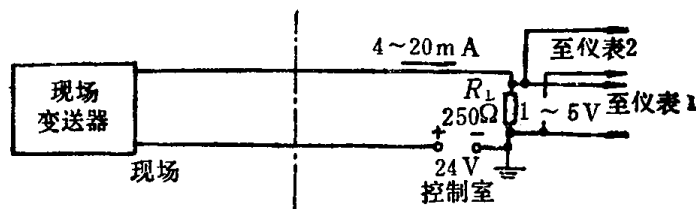


图 1-3 DDZ-Ⅱ型仪表信号传输示意图

### (三) 供电

Ⅰ型仪表由 $220\text{V}$ 交流电压单独供电。各单元均有电源变压器，故仪表易发热。

Ⅱ型仪表由 $24\text{V}$ 直流电源箱统一供电，并备有蓄电池作为备用电源。由于各单元省掉了电源变压器，没有工频电源进入仪表，既解决了仪表发热问题，也为仪表的防爆提供了有利条件。在工频电源停电的情况下备用电源即投入工作，使整套仪表在一定时间内仍可照常工作，继续发挥其监视控制作用，有利于安全停车。

### (四) 仪表结构和功能

各厂家虽已对Ⅱ型仪表某些单元的结构和线路作了改进，但从总体设计而言，Ⅱ型仪表的结构更为合理，功能也更丰富。

Ⅰ型差压变送器已从双杠杆机构改进为如同Ⅱ型仪表一样的矢量机构(例如DDZ-201A等),线路也采用低频放大器,因而性能较好。但它只能制成四线制的仪表,故电路要复杂些。Ⅲ型变送器品种较多,它还具有结构简单、线路新颖的差压变送器。

Ⅰ型温度变送器的输出信号与输入电势或电阻信号成线性关系,但与温度参数成非线性关系。Ⅱ型温度变送器具有线性化电路,使输出信号与温度参数之间呈线性关系,便于直接指示。

Ⅰ型调节器已采用如同Ⅱ型仪表一样的大偏差指示表(例如DTL-321),并具有硬手操(遥控操作)和软手操两种方式,但无保持电路。Ⅱ型调节器品种齐全,基型调节器有全刻度指示式和偏差指示式两种。纵形大表头,指示醒目,便于监视操作。为了适应复杂控制系统的需要,Ⅱ型仪表还具有各种变型的特种调节器(如抗积分饱和调节器、非线性调节器、前馈调节器等)。此外还设有各种附加单元(如输入报警、偏差报警、输出限幅单元等),可以装在基型或特种调节器中。

Ⅱ型调节器还能与计算机配套使用,它可根据需要组成SPC系统,实现计算机监督控制,也可组成DDC控制的备用系统。

#### (五) 防爆

Ⅰ型仪表是隔爆型的。Ⅱ型仪表则是按国家防爆规程进行设计。在工艺上对容易脱落的元件、部件都进行了封胶,而且增加了安全单元(安全栅),实现了控制室与危险场所(指含有氢、甲烷、乙烯、乙炔等易燃易爆气体的生产现场)之间的能量限制和隔离,构成安全火花型防爆系统。这使仪表无论在正常运行,还是在事故状态下,都不会引爆。Ⅱ型仪表的这一特点,使电动仪表在石油化工企业中应用的安全可靠性有了显著提高。

为了便于了解Ⅰ型和Ⅱ型仪表的特点,现将这两种仪表的主要区别列入表1-1中。

表 1-1 DDZ-Ⅰ型与DDZ-Ⅱ型仪表比较

系 列		DDZ-Ⅰ	DDZ-Ⅱ
信号式、供电、传输方式	信号	0~10mA(DC)	4~20mA(DC), 1~5V(DC)
	传输方式	串联制(电流传送电流接收)	并联制(电流传送电压接收)
	现场变送器连接方式	四线制	二线制
	供电	220V(AC)单独供电	24V(DC)集中供电并有断电备用电源
电气元件和防爆型式	电气元件	分立元件	集成组件
	防爆型式	隔爆型	安全火花型
	安全栅	无	有
结构、线路设计和功能	差压变送器	双杠杆机构和矢量机构式	矢量机构式、差动电容式和扩散硅式
	温度变送器	非线性化电路	有线性化电路
	调节器	偏差指示 手-自动切换需先平衡 无保持电路 功能一般	全刻度指示、偏差指示 软手动-自动可直接切换 有保持电路 功能多样,具有特种调节器和附加单元
	系统构成	一般	灵活多样
	与计算机联用	兼容性差	兼容性好

## 二、主要性能指标

### (一) II型仪表的主要性能指标

- (1) 统一标准信号 0~10mA(DC)。
- (2) 辅助联络信号 0~10mA(DC); 0~2V(DC)。
- (3) 基本误差  $\pm 0.5\%$ 、 $\pm 1\%$ 和 $\pm 1.5\%$ 三种<sup>①</sup>。
- (4) 响应时间 不超过1秒。
- (5) 负载电阻 变送单元、转换单元、运算单元等负载电阻为0~1.5k $\Omega$ ; 给定单元、调节单元等负载电阻为0~3k $\Omega$ 。
- (6) 恒流性能 负载电阻在规定范围内变化时, 仪表的附加误差不超过允许的基本误差。
- (7) 输出交流分量 不超过输出值的0.5~1%。
- (8) 环境温度 控制室仪表 0~45 $^{\circ}\text{C}$ ;  
现场安装仪表 -10~+60 $^{\circ}\text{C}$ 。

### (二) III型仪表的主要性能指标

- (1) 统一标准信号 现场传输信号 4~20mA(DC);  
控制室联络信号 1~5V(DC)和4~20mA(DC)。
- (2) 基本误差 一般为 $\pm 0.5\%$ , 少数品种为 $\pm 0.2\%$ 、 $\pm 1.0\%$ 、 $\pm 1.5\%$ 、 $\pm 2.5\%$ 。
- (3) 变差 不超过允许基本误差的绝对值。
- (4) 响应时间 不超过1秒。
- (5) 负载电阻 调节器、输出式安全栅为250~750 $\Omega$ ; 对于有1~5V电压输出的仪表, 其电流输出端的负载电阻为0~100 $\Omega$ ; 变送器负载电阻为250~750 $\Omega$ 。当负载电阻在规定范围内变化时, 仪表的附加误差不超过允许基本误差。
- (6) 输出交流分量 不超过输出值上、下限之差的1%, 力平衡变送器输出值中的交流分量不超过输出值上、下限之差的2.5%。
- (7) 防爆等级 H III。(见本章第三节)。
- (8) 环境温度 控制室仪表 0~50 $^{\circ}\text{C}$ ;  
现场安装仪表 -40~+80 $^{\circ}\text{C}$ 和-25~+60 $^{\circ}\text{C}$ 。

## 三、品种分类

单元组合仪表可分为现场安装仪表和控制室安装仪表两大部分, 共有八大类。按仪表在系统中所起的不同作用, 现场安装仪表可分为变送单元类和执行单元类; 控制室内安装仪表又可分为调节单元类、转换单元类、运算单元类、显示单元类、给定单元类和辅助单元类。各单元的作用与品种如下:

### 1. 变送单元类

它能将各种被测参数, 如温度、压力、流量、液位等物理量变换成相应的0~10mA或4~20mA直流电流, 传送到显示、调节等单元, 以供指示、记录或控制。变送单元的主要品种有: 温度变送器、压力变送器、差压变送器、流量变送器等。

### 2. 转换单元类

转换单元是电动单元组合仪表与其它系列仪表之间联系的桥梁。它能将电压、频率等电信

<sup>①</sup> 不包括流量变送器和微差压变送器。



号或者 20~100kPa 的标准气压信号转换成相应的 0~10mA 或 4~20mA 的直流电流，从而与电动Ⅱ型或Ⅲ型仪表的控制系统联结起来。转换单元的品种有：直流毫伏转换器、频率转换器、气-电转换器等。

### 3. 调节单元类

它将来自变送单元的测量信号与给定信号进行比较，按照偏差给出控制信号，去控制执行器的动作，使测量值与给定值相等。调节单元的品种有：比例积分微分调节器、比例积分调节器、微分调节器以及具有特种功能的调节器等。

### 4. 运算单元类

它将几个 0~10mA 直流电流信号或 1~5V 直流电压信号进行加、减、乘、除、开方、平方等数学运算，适用于多参数综合控制，配比控制，流量信号的温度压力校正计算等。运算单元的品种有：加减器、乘除器和开方器等。

### 5. 显示单元类

它对各种被测参数进行指示、记录、报警和积算，供操作人员监视控制系统工况之用。显示单元的品种有：比例积算器和开方积算器等。

### 6. 给定单元类

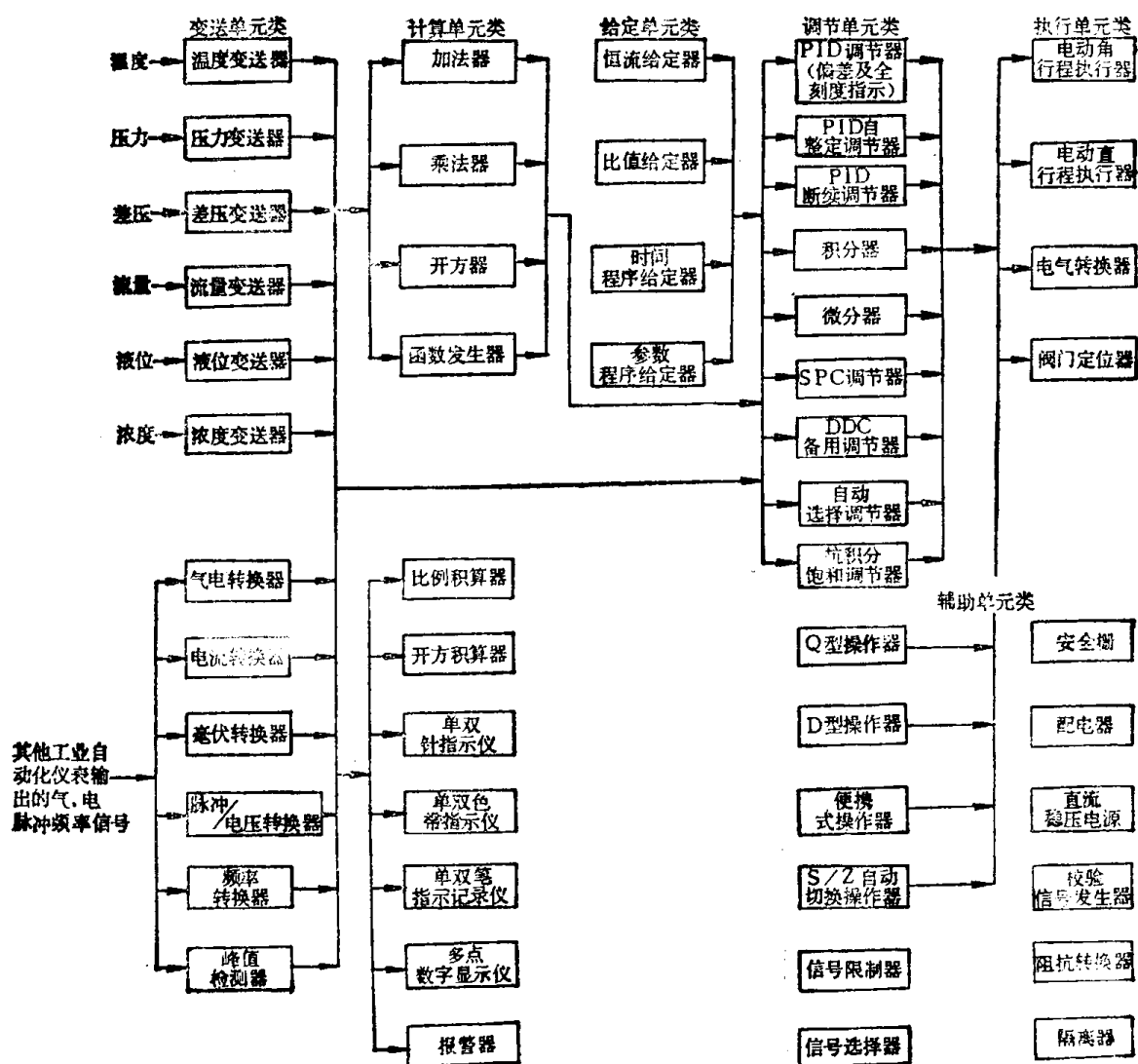


图 1-4 DDZ 仪表组合系统示意图