

996874



高等学校教材

热工过程控制仪表

武汉水利电力大学 陶承志 主编



高等学校教材

热工过程控制仪表

武汉水利电力大学 陶承志 主编

中国电力出版社

内 容 提 要

本书内容共分八章。第一章概论,介绍热工过程控制仪表的分类、发展、组成原理、信号制和供电方式等基本知识。第二、三章介绍热工过程控制仪表的现场部分——变送器和执行机构。第四、五章为模拟式调节控制仪表,详细讲述DTL型调节器和SPEC 200组装式仪表的原理、结构、工作特性以及组成控制系统的方法。第六、七、八章为数字式调节控制仪表,讲述了可编程序调节器的原理、结构及应用方法,组装式数字调节装置、多回路数字控制器、可编程序控制器的特点及应用方法,最后系统地介绍了典型的集中分散型控制系统。

图书在版编目(CIP)数据

热工过程控制仪表/陶承志主编. -北京:中国电力出版社, 1997

高等学校教材

ISBN 7-80125-459-7

I. 热… II. 陶… III. 热力工程-过程控制-热工仪表-高等学校-教材 IV. TK32

中国版本图书馆CIP数据核字(97)第12355号

中国电力出版社出版

(北京三里河路6号 邮政编码100044)

北京鑫正大印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

*

1998年2月第一版 1998年2月北京第一次印刷

787毫米×1092毫米 16开本 22.25印张 505千字

印数0001—2070册 定价20.50元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换)

前 言

本书是根据高等工业学校热能动力类生产过程自动化专业的教学大纲和教学要求，并结合近年来热工过程控制仪表的发展及其在电厂的应用情况编写的，作为电厂热工生产过程自动化专业的教材。它也可作为其他工业部门，如冶金、化工、石油、轻工等的生产过程自动化专业的参考教材，以及供从事生产过程自动控制工作的工程技术人员学习和参考，故在叙述过程中采用“过程控制仪表”一词。

由于数字式控制仪表与系统的技术性能优越，品种门类众多，发展非常迅速，应用日益广泛，因此本书加强了对数字式控制仪表与系统的介绍，以使教学内容适应仪表发展和实际应用的需要。

本教材中的量符号和设备文字符号尽可能符合国家标准，例如物理量电阻、电容、电感采用 R 、 C 、 L 斜体字符，序号为下角标，如 R_1 、 C_1 、 L_1 等；电阻器、电容器、电感器采用 R 、 C 、 L 正体字符，序号平身位置，如 $R1$ 、 $C1$ 、 $L1$ 等；电位器用 R_P 、负载电阻用 R_L 、热电阻用 R_T 符号，相应的电阻值物理量用 R_{RP} 、 R_{RL} 、 R_t 符号；晶体管用 V ，正体字符，序号平身位置，如 $V1$ 、 $V2$ 等。

全书编写时，力求联系实际，突出重点，并注意深入浅出，文字流畅。每章编有习题与思考题，供复习使用。

本书由武汉水利电力大学陶承志主编，并编写第一、二、六、七、八章，上海电力学院陈世基编写第三、四、五章。东北电力学院邓天日担任主审。主审人认真仔细地审阅了全部书稿，提出了宝贵的意见和建议，在此表示衷心感谢。

由于编者水平有限，书中难免有不妥及错误之处，恳切希望读者批评指正。

编 者

1997年4月

目 录

前 言	
第一章 概论	1
第一节 过程控制仪表的概况和发展	1
第二节 过程控制仪表的信号制和供电方式	5
第三节 过程控制仪表的组成原理	8
习题与思考题	13
第二章 变送器	14
第一节 电容式变送器	16
第二节 其他新型变送器	27
第三节 DDZ-Ⅲ型温度变送器	35
习题与思考题	44
第三章 执行机构	46
第一节 电动执行机构	47
第二节 电信号气动长行程执行机构	67
第三节 给粉机转速控制装置	71
习题与思考题	79
第四章 DTL型调节器	81
第一节 概述	81
第二节 输入回路	84
第三节 自激调制式直流放大器	87
第四节 限幅电路	91
第五节 PID反馈回路	92
第六节 DTL-331A调节器的动态特性	95
第七节 DTL-331A调节器的典型工况	98
第八节 自动跟踪	103
第九节 DTL-331A调节器综述	106
习题与思考题	107
第五章 组件组装式仪表	109
第一节 组件组装式仪表的基本电路	109
第二节 SPEC-200组装式仪表的主要功能组件	141
第三节 SPEC-200组装式仪表组成的控制回路	158
习题与思考题	169
第六章 数字控制仪表与系统概述	171
第一节 数字仪表控制系统的功能和特点	171

第二节	数字仪表控制系统的构成要素	174
第三节	数字仪表控制系统的构成方式	184
第四节	数字仪表控制系统的冗余化结构	189
	习题与思考题	192
第七章	数字调节(控制)器	194
第一节	单回路数字调节器总论	194
第二节	KMM 可编程序调节器的结构原理	214
第三节	KMM 可编程序调节器的软件功能	221
第四节	KMM 可编程序调节器的编程	242
第五节	KMM 可编程序调节器应用举例	251
第六节	数字组装式仪表	253
第七节	多回路数字控制器	266
第八节	可编程序控制器及其闭环控制功能	270
	习题与思考题	278
第八章	集中分散型控制系统	280
第一节	概述	280
第二节	μ XL 系统人机接口机能体系	284
第三节	μ XL 系统控制机能体系	297
第四节	μ XL 系统 BASIC 语言机能体系	313
第五节	μ XL 系统的通信和工程技术机能	320
第六节	μ XL 系统应用举例	326
第七节	TDC-3000 集散控制系统	330
第八节	Network-90、INFI-90 和 WDPF 集散控制系统	342
	习题与思考题	348
参考文献	349

第一章 概 论

第一节 过程控制仪表的概况和发展

一、概况

过程控制仪表是生产过程自动化的工具，是实现自动控制理论中各种控制原则和控制规律的手段。随着科技进步和生产规模的扩大，它已广泛地介入工业生产并起着越来越重要的作用。

所谓生产过程自动化，是在无人直接参与的情况下，通过控制设备（即通常所称的自动化仪表）去控制被控对象，使生产过程自动地按照预定的规律运行。在过程控制仪表中，检测仪表和变送器对过程参数进行测量和信号转换，显示仪表用来指示和记录过程参数，调节器、运算器和监控器等对被调参数实行自动调节、各种数学运算和监控，最后由执行器和调节机构完成系统中的执行指令，使生产过程按规定的要求运行。本书所要介绍的过程控制仪表，是指除检测、显示仪表之外的其他自动控制设备，包括变送器、调节器、运算器、监控器、操作器及执行器等。

当代的过程控制仪表按信号类型分为模拟式控制仪表和数字式控制仪表。用它们构成过程控制系统时，其现场仪表——变送器和执行器是通用的（大都是模拟式的），不同的是调节、运算、监视、操作部分。因此本书在概论之后首先介绍变送器和执行器，然后陆续介绍各类模拟式和数字式控制仪表。

过程控制仪表按所用能源形式的不同，可分为电动、气动、液动和混合四大类。

气动控制仪表已有几十年的历史。其特点是结构简单、直观、易于掌握，性能稳定、可靠性高、具有安全防爆性能，特别适用于石油、化工等有爆炸危险的场合，目前仍应用较广。尤其是气动执行器，由于其安全、可靠、工作平稳等优点而受到欢迎，甚至在由电动控制仪表组成的系统中，执行器仍是采用气动的，不少火力发电厂的大容量机组便是这种情况。

液动控制仪表也发展较早。它结构简单、工作可靠，但动作速度较低、设备笨重，多用于功率较大的场合，例如火电厂的汽轮机调速和水电站中的水轮机调速，几乎都采用液动调节或者采用电液复合调节，后者具有电动仪表能远传信号的特点。

电动控制仪表迟至 50 年代才发展起来。由于电信号的传输、放大、变换、测量都很方便、快捷，因此电动控制仪表可以实现快速和远距离控制，易于集中显示和操作，易于用电子线路实现复杂的控制规律，易于与其他现代化技术工具，如电子计算机等联用，能方便地组成各种复杂的综合控制系统。同时，电能供给方便，不像气动仪表那样需要庞大的压缩空气附属设备和管路系统。曾经是影响电动仪表广泛使用的防爆问题，由于采用安全火花型防爆电路和防爆安全栅等措施而得到很好的解决。因此，电动仪表较之气动仪表具

有明显的优越性，发展非常迅速，应用十分广泛，成为工业自动化的主要技术工具。本教材除了气动执行器外，介绍的都是电动仪表及装置。

过程控制仪表按结构形式的不同，又可分为基地式控制仪表、单元组合式控制仪表、组件组装式综合控制装置、数字控制器和集中分散型控制系统等几类。

1. 基地式控制仪表

基地式控制仪表的结构特点是，将检测、转换、放大、显示、调节等部件设计成一个整体装置。它基本上是以指示或记录仪表为中心，附加一些部件来完成调节任务的。利用一台基地式仪表就能解决一个简单自动控制系统的测量、指示、记录、调节等全部任务，使用方便，价格低廉，因此它适用于单参数、单回路的简单控制系统，甚至在一些大容量火发电机组的简单控制系统中也被采用。

2. 单元组合式控制仪表

单元组合式控制仪表的结构特点是，按照自动检测和控制系统中各组成环节的不同功能和使用要求，将整套仪表分为若干个能独立实现一定功能的单元，各单元之间以统一标准信号互相联系，应用时只要几种单元进行不同的组合，便可构成形式多样、复杂程度不等的自动控制系统。这种仪表应用方便、通用性强，便于生产、维护，库存备品少，适合于大、中规模生产自动化的要求，曾是现代工业生产中相当重要的过程控制仪表。

在我国，单元组合式控制仪表有气动单元组合仪表（QDZ型）和电动单元组合仪表（DDZ型）两大系列。在DDZ系列中，相继研制开发了Ⅰ型（电子管和磁放大器型，50年代研制）、Ⅱ型（晶体管型，60年代研制）和Ⅲ型（集成运算放大器型，70年代研制）电动单元组合仪表。型号的“DDZ”是电（Dian）、单（Dan）、组（Zu）三字的汉语拼音第一个大写字母的组合。这三代产品不仅在基本电子器件方面相继更新换代，同时仪表的技术、结构和性能等方面都有明显的改进。

电动单元组合仪表构成的简单控制系统如图1-1所示。图中被控对象输出的被控量，如压力、温度、流量等工艺参数，经检测元件、变送单元转换成相应的电信号后，一方面送到显示单元供指示或记录，同时送到调节单元中，与给定单元送来的给定值相比较，调节单元根据比较后得出的偏差，按一定的调节规律发出控制信号（也可以由属于辅助单元的操作器在必要时进行手动操作），控制执行单元的动作，将阀门开大或关小，改变控制量，如生产流程中的蒸汽、空气、给水等介质的多少，直至被控量与给定值相等时为止。

由图1-1可见，对于不同的控制对象，只需更换一个或几个单元，如更换变送单元即可。

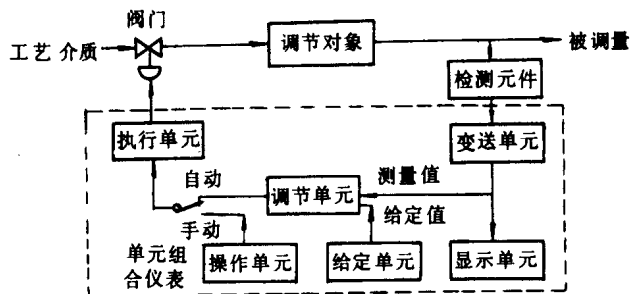


图 1-1 用电动单元组合仪表构成的简单控制系统

除了图中表示的这些基本单元之外，还有可进行加、减、乘、除、开方、乘方、函数等运算的计算单元，以及实现电压-电流转换、频率-电流转换的转换单元，以满足一些复杂控制系统的需要。

DDZ- I 型仪表已淘汰，现在，Ⅱ型和Ⅲ型仪表也受到新兴的数字控制仪表的有力挑战。国内工业自动化仪表行业近年开发出一些升级换代产品，如 DDZ-S 型电动单元组合仪表。这套仪表的主要特征是全面采用微机技术，但其外部结构和系统的单元组合方式基本上继承了 DDZ-Ⅱ、Ⅲ型仪表的风格和方式，因此凡是熟悉Ⅱ、Ⅲ型仪表设计、安装、调试和操作的人员都能较快地掌握。与Ⅱ、Ⅲ型仪表相比，S型仪表的可靠性和系统的有效性提高，增加了顺序控制和逻辑控制功能，可以利用通信功能与上位系统连接，实现集中监视和操作。目前，该系列仪表已开始在生产实际中应用。

3. 组件组装式控制仪表

为适应大型企业综合自动化的要求，在单元组合式仪表的基础上，于70年代发展起来的成套控制仪表装置，简称组装式仪表。

组装式仪表以集成运算放大器为基本放大元件。它的结构特点是，将整套仪表的调节、运算和控制功能部分与显示、操作功能部分分开来，为此，组装式仪表分为控制柜和操作盘两大部分。控制柜中以插接方式密集安装了一块块具有独立功能的、称为“功能组件”的印刷电路板，它们是组装式仪表的基本组成件。显示操作盘是人-机联系部分，集中布置了与监视、操作有关的盘装仪表。这样的结构有利于现代大型企业中组成各种复杂的控制系统，实现集中显示和操作，以及缩短控制室仪表盘长度的要求，还利于在仪表制造厂预先根据用户需要组装好整套控制系统，减少现场的安装调试工作量，使维护和系统改组工作大大简化。

在功能方面，组装式仪表除具有 DDZ 型仪表的所有功能外，一般都引进了非线性控制、逻辑控制、数字技术及断续调节技术等。此外，还特别考虑了监控和自动保护功能，以及与控制计算机，程序控制、图像显示等装置的配合使用问题，提高了整套控制仪表的性能。因此组装式仪表适用于大型设备的自动化系统。

在我国，组装式仪表系列主要有自行研制的 TF-900 型和 MZ-Ⅲ型，还有上海·福克斯波罗 (FOXBORO) 公司生产的 SPEC-200 型。在引进的火力发电等成套设备中，还有美国贝利公司生产的 820 型和 9020 型，瑞士苏尔寿公司生产的 AV-Ⅳ型等。

4. 数字控制仪表和集中分散型控制系统

数字控制仪表(装置、系统)是指应用微处理器的过程控制仪表(装置、系统)。自70年代发展至今，形成三大类产品：单回路数字调节器、可编程序控制器和集中分散型控制系统。它们实质上都是完整的微型计算机过程控制系统。单回路数字调节器以模拟量连续调节为主。可编程序控制器以开关量顺序控制为主。集中分散型控制系统(简称集散系统)的特点是：以微处理器和微型计算机作为过程控制工具，完成目前模拟控制仪表和顺序控制装置的功能；以小型计算机作为上位机，实现数据处理、监督控制；以图像显示和操作键盘为中心的人-机联系装置，实现集中显示、操作；用数据通信电缆将各设备联系起来。因此集中分散型控制系统是对生产过程进行分散控制和集中监视、操作的综合数字控

制装置，包括了多回路和单回路的连续调节功能和顺序控制功能。单回路数字调节器和可编程序控制器都可以作为集散系统的子系统，从而可以组成规模和复杂程度不同、灵活多样的各种数字仪表控制系统。通常所称数字控制仪表习惯指数字调节器和可编程序控制器之类仪表，而将集中分散型控制系统单独称呼。

数字控制仪表和集中分散型控制系统运用了控制 (Control)、计算 (Computer)、通信 (Communication)、图像显示 (CRT) 等“4C”技术，具有可靠性高、使用方便、功能丰富、控制分散，利于提高系统性能，具有自诊断功能和利于维修诸多优点，正日益广泛地应用于各类现代化工业生产的控制上。

二、发展

生产的发展对过程控制仪表不断提出新的要求。同时，新技术、新工艺、新材料和新器件的不断出现，又为过程控制仪表的发展创造了条件。过程控制仪表就是这样随着生产发展和科学技术进步而向前发展的。

至今，模拟式控制仪表的发展已经经历了自力式（它不需要外界补充能源，直接利用被控介质本身的能量去推动调节机构）、基地式、单元组合式及组件组装式等几个大的发展阶段，单元组合式也经历了Ⅰ型、Ⅱ型和Ⅲ型的发展过程。

随着工业部门各种大型、高效率、高参数的新型生产设备的相继出现，控制回路增多，系统趋于复杂，过程参数间的关联性大大增强，从而对过程控制仪表提出了许多新的更高的要求：应具有丰富的控制功能，能对生产过程进行最佳控制；能灵活地构成各种控制系统，并方便地对系统进行扩展和修改；改善人-机联系，实现对生产过程的集中监视和操作；尽可能提高仪表与系统的可靠性、安全性以及控制精度；能与计算机联接，达到信息-控制-管理一体化，以实现整个装置乃至整个企业的优化管理；安装、调试、维护、检修方便；具有高的性能/价格比。

由于模拟式控制仪表的功能都是靠硬件组合而实现的，所以，要进一步增加其功能，提高其可靠性和各方面性能，会受到许多因素的限制，难以有根本性的改进，满足不了现代工业生产的要求。采用电子计算机数字控制技术，能解决模拟式控制仪表存在的问题，但如果控制过于集中，安全性则不容易得到保证。随着集成电路、微型计算机、数据通信、字符图像显示、软件等技术的发展，数字控制仪表与系统也应运而生。

针对复杂的多回路控制系统，以“集中管理、分散控制”为指导思想，国外于70年代开发研制了集中分散型控制系统（简称集散系统），它通过控制功能的分散达到分散危险、提高可靠性的目的。为了适应用户的不同要求，集散系统有大、中、小规模之分，每个微处理机控制的回路数有多有少，并且经历着由多到少的发展过程。十多年来，最小系统的回路数由64个、32个减少到16个、8个。到80年代初，分散度降到一台微处理机只控制一个回路，即把微处理机装进调节器，成为单回路数字调节器。单回路数字调节器是单元组合仪表微机化和计算机控制系统分散化两种发展方式相结合的产物。与此同时，还开发研制了以开关量顺序控制为主的可编程序控制器。

微机技术成功地应用于仪表中，使仪表具有记忆、判断、处理功能。有了这些功能，我们可以说仪表具有了“思考”能力，从而为实现仪表智能化创造了条件。数字控制仪表的

兴起使得仪表与计算机，特别是微处理机之间的界限变得模糊，传统仪表概念发生了质的飞跃。与模拟式控制仪表相比，数字控制仪表引入了许多传统仪表中没有的新概念，并使系统工程化和人-机接口方面出现较大变化。数字控制仪表也不等同于微机，它们已经是一种专门的控制装置，具有自己的定义、标准和应用特色。用数字控制仪表实现工业过程控制比直接使用微机简单、方便得多。在未来的工业控制技术中，常规的硬件功能式仪表将在很多方面被数字控制仪表所取代，这是仪表发展的一种趋势。

应该看到，各种过程控制仪表都有自己的适用范围，都在不断发展。虽然数字控制与模拟控制相比有许多优点，计算机技术应用也日益广泛，但目前在我国，模拟控制仪表仍有其重要地位并在广泛的范围内使用。

对于一个自动控制系统，其控制品质除取决于控制系统的设计是否合理外，还取决于控制对象特性和过程控制仪表的工作特性以及正确的使用方法。与被控生产设备相比，过程控制仪表的发展可以说是日新月异，其发展之快、品种之多使人颇有眼花缭乱之感。作为自动化工作者，既要熟悉生产中业已应用的仪表，还要掌握和开发新型仪表。针对我国电厂热工生产过程所用过程控制仪表的现状和发展要求，本书介绍传统的和新型的变送器、电动和气动执行机构、电动单元组合仪表、组件组装式仪表、可编程序调节器、可编程序控制器和集中分散型控制系统。我们将从过程控制仪表使用者的角度出发，对这些仪表的功能、用途、结构组成、工作原理、技术特性、使用方法等方面进行较全面的分析和介绍。

第二节 过程控制仪表的信号制和供电方式

一、信号制

一个工业自动控制系统由许多仪表组成，一般包括以下几类：①检测仪表和变送器；②显示及记录仪表；③信号处理仪表（包括运算、调节、监视等功能）；④执行器。

大部分变送器和全部执行器都直接安装在生产现场，其他仪表则安装在控制室内。现场仪表之间互不连接，而只和控制室内仪表相连。控制室内仪表以各种方式相互连接。由于在系统中各个仪表的输入和输出相互连接，所以为连接方便，需要有统一的联络信号。

信号制（信号标准）是指在成套仪表系列中，各个仪表的输入、输出采用何种统一联络信号。采用统一信号不仅可使同一系列的各类仪表组成系统，而且可以通过各种转换器，如电-气转换器、气-电转换器等将电动仪表与气动仪表连接起来，混合使用，扩大仪表的使用范围。此外，由于各种被测参数转换为统一信号，故显示、记录仪表单一化，同时便于与巡回检测装置、顺序控制装置、工业控制计算机等现代技术工具配合使用。

气动仪表的输入、输出信号，以前统一采用 $0.2\sim 1\text{kgf/cm}^2$ 压力信号，现根据当前国际标准改为 $0.02\sim 0.1\text{MPa}$ 压力信号（ $1\text{kgf/cm}^2 = 9.80665 \times 10^4 \text{Pa}$ ）。

电信号有模拟信号、数字信号、频率信号、脉宽信号等四类。由于迄今工业过程控制仪表中绝大部分是模拟仪表，所以在系统中无论是远距离传输信号，还是控制室内各仪表装置之间的联络信号，目前用得最多的是电模拟信号。数字式仪表之间以标准的数字信号进行传输，数字信号传输精度高，可用少量传输线快速地传送大量信息。频率信号抗干扰

能力强，也容易实现数字化，某些变送器（如涡轮流量计、振弦式变送器）直接输出频率信号。脉宽信号是周期固定而脉宽随输入值变化的一种脉冲信号，常作为一些数字装置内部的信号或输出信号。

电模拟信号的种类有直流电流、直流电压、交流电流和交流电压四种。与交流信号比较，直流信号有以下优点：

(1) 在信号传输中，能方便地将交流感应产生的干扰信号区分开来并消除之，容易处理仪表的抗干扰问题。并且传输线的电感、电容和负荷性质对直流信号无影响，不存在信号的相移问题，使敷线简便。

(2) 适用于巡回检测装置、数据处理装置及控制计算机等，因为这些技术工具都是以直流信号作为输入信号的。

(3) 在仪表设计中，电子电路普遍为直流电路，输入、输出信号适宜用直流信号，且容易获得直流信号的基准电压。

因此，世界各国都以直流电流和直流电压作为统一信号。

直流电流信号的优点是：

(1) 采用电流信号制的发送仪表，其输出阻抗很高，负载电阻（包括传输线电阻）在一定范围内变化时仍能保证输出电流的变化小于允许值（即“恒流性能”），因此适于信号的远距离传输。例如 DDZ-Ⅱ 型仪表，当负载电阻在规定范围（ $0\sim 1.5\text{k}\Omega$ ）内变化，若采用 0.6mm 直径的导线，其信号传输距离可达 $3\sim 5\text{km}$ ，仍能保证恒流准确度为 0.5% 。

(2) 对于要求电压输入的仪表，只需在电流回路内串入一个电阻，从电阻两端取得信号电压供给仪表，故应用较灵活。

采用电流信号的缺点是：

(1) 当电流信号传输给几台接收仪表时，仪表是串联连接的，故某台接收仪表损坏或需补接入仪表时，将影响其他仪表工作。

(2) 几台仪表串联工作，各接线端子电位不一样。在构成系统时应注意防止多处共点（或共地）、电位混乱而导致仪表不能正常工作。为此，可使各台仪表浮空。必要时，需要用输入、输出具有直流隔离的仪表。

(3) 采用电流输出的仪表，其输出级必须有功率放大，增加了功耗，并且输出功率管耐压要高，降低了仪表的可靠性。

采用电压信号的特点是：

(1) 接收仪表采用并联工作方式，因此，设计安装比较简便，接入或撤出某台仪表不会影响工作，对仪表输出级的耐压要求可以降低，相应提高了仪表的可靠性。

(2) 为减少传输误差，要求发送仪表的内阻及导线电阻足够小，接收仪表的输入电阻足够大。由于导线电阻的限制，故电压信号不适于远距离传输。

由上述分析可见，电流信号的主要优点是适于远距离传输，电压信号的主要优点是可采用并联方式连接。因此，绝大多数电动仪表控制系统中，现场与主控制室之间的传输信号采用直流电流信号，控制室内部各仪表间的联络信号采用直流电压信号。

从信号范围来看，下限可以从零开始，也可以不从零开始，上限可高可低，分述于下：

(1) 信号的下限从零值开始(俗称“死零点”),便于进行模拟量的加、减、乘、除、开方等数学运算和采用有通用刻度的指示、记录仪表;但对信号传输线断线或是仪表断电的故障难于区分。

(2) 信号下限不从零开始(俗称“活零点”),可使仪表的电气零点和机械零点分开,便于判别断线、断电故障,并能使半导体器件避开非线性工作区,使制作二线制变送器成为可能;但下限不为零时,为了适应信号转换、运算等方面的要求,往往需要在电路上采取电平的移动、补偿和预置等措施,给仪表的设计和使用带来一些麻烦。

(3) 信号上限的高、低则对仪表的抗干扰性能、信号传输损失、仪表的功耗、仪表元器件(主要是集成运算放大器)的技术要求有一定的影响。

由上可见,统一信号的种类和范围对仪表的技术性能和经济性有直接的影响。国际电工委员会(IEC)规定了国际统一信号,即过程控制系统的模拟直流电流信号为 $4\sim 20\text{mA}$, DC,模拟直流电压信号为 $1\sim 5\text{V}$, DC。我国的DDZ-Ⅲ型仪表采用了国际统一信号,而DDZ-Ⅱ型仪表采用 $0\sim 10\text{mA}$, DC信号。TF-900型和MZ-Ⅲ型组装式仪表采用 $0\sim 10\text{V}$, DC直流电压信号作为机内联络信号,而兼用了 $0\sim 10\text{mA}$, DC和 $4\sim 20\text{mA}$, DC作为现场传输信号,以便于与DDZ-Ⅱ型和DDZ-Ⅲ型仪表的变送器和执行器配用。电模拟信号除了上述几种主要体制外,还可见到采用直流 $0\sim 4\text{V}$ 、 $\pm 5\text{V}$ 、 $\pm 5\text{mA}$ 、 $0\sim 20\text{mA}$ 及 $10\sim 50\text{mA}$ 信号的仪表。但新型的控制仪表都趋向采用国际统一信号。

二、电动仪表的供电方式

对于电动仪表,采用何种方式供电也是一个重要问题,供电方式对仪表的结构、性能影响颇大。目前有两种供电方式:交流分散供电和直流集中供电。

1. 交流分散供电

交流分散供电是在各台仪表中分别引入工频 220V 交流电源,先用变压器降压,通过相应电路整流、滤波和稳压后作为各部分的电源。DDZ-Ⅱ型仪表采用了这种供电方式。这种供电方式的缺点较多:增加了每台仪表的体积、重量和功耗;变压器发热,增加了仪表的温升; 220V 交流直接引入,降低了仪表的安全性,也易带来工频干扰。尤其在现代大型控制系统中,仪表的数量很大,这些问题就显得突出。

2. 直流集中供电

直流集中供电是各个单元(仪表)统一由直流低电压电源箱供电。集中供电克服了交流供电的缺点,并且可与备用蓄电池构成无停电供电装置。这种供电方式布线简单,工作安全,备用及保护容易处理。TF-900型组装式仪表采用 $\pm 15\text{V}$ 双电源集中供电,MZ-Ⅲ型组装式仪表和DDZ-Ⅲ型单元组合式仪表采用 24V 单电源集中供电。

由于是集中方式供电,因而对电源的可靠性提出了更高的要求。为此,一方面要对电源装置本身采取保护措施,例如,在电源线路上设置过流、过压、失电等保护措施;将几台电源装置并联运行,即使一台电源损坏或处于保护状态退出供电网络,也不至于影响整个系统的正常供电。另一方面是考虑电源后备措施,一是采用两路独立交流电源供电,一路断电时,另一路切换接上;二是采用备用蓄电池,一旦 220V 交流失电,将仪表自动切换到蓄电池,维持仪表继续工作一段时间,同时发出报警信号,通知检修人员迅速检修。

此外，集中供电，尤其是单电源集中供电，给仪表线路带来一些新的问题，需要在仪表设计时加以考虑。

第三节 过程控制仪表的组成原理

一、开环式仪表和闭环式仪表

一台模拟过程控制仪表，在结构上一般均由若干部分组成，它们可以是机械部件、电磁器件和电子线路。这些组成部分使整台仪表实现信号的转换、放大、运算等功能。一般，从仪表输入端到输出端之间，信号要经过一系列变换。在信号的变换过程中，必然要受到仪表内部因素，如摩擦力、弹性力、间隙、气隙、非线性、噪声等的影响，也要受到外部因素，如大气压力、环境温度和湿度、供电电源、外部电磁场和重力场、振动等的影响，从而增加了仪表设计、制造和使用的困难。

按照信号在仪表中的传递变换过程以及仪表各组成部分的功能特点，可以将仪表看成由若干个环节组成。由各环节串联（或并联）所构成的仪表称为开环仪表（图 1-2, a）；具有反馈回路的仪表称为闭环仪表（图 1-2, b）。

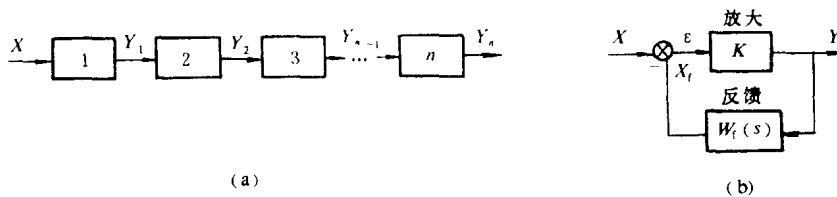


图 1-2 过程控制仪表的基本构成框图

(a) 开环仪表；(b) 闭环仪表

开环仪表的各组成环节是串联的，因而信号的传递采用级与级之间的直接变换形式。整机的传递函数为各环节的传递函数的乘积。每一个环节的内部影响因素和外部影响因素必然以累积的效果直接影响仪表的总性能，如仪表的准确度、灵敏度、非线性误差、来回变差、反应时间等。为了保证整机的准确度，必须减少每一环节的误差。为了提高仪表的灵敏度，可采用增加仪表组成环节的方法，但这将使仪表的总误差随之加大。也就是说，对于开环仪表，提高灵敏度与准确度之间存在着矛盾。

电子技术和控制理论告诉人们，将开环系统改接成闭环系统，再采取提高增益、加深负反馈的方法，可大大改善系统的静态和动态性能。这一理论对于过程控制仪表同样具有重要指导意义。正是利用负反馈原理，开发了多种多样的过程控制仪表，有效地克服了仪表内部、外部因素的不利影响，提高了仪表的性能，实现了一定的运算关系，获得了所需要的输出特性，从而成功地解决了开环仪表存在的许多问题。

按负反馈原理构成的各种模拟量控制仪表，不管其结构如何复杂，一般都可以用图 1-3 所示的原理框图来表示。它们主要由输入转换部分、比较部分、放大部分和反馈部分组成，各部分之间的信号传递与作用方向如图中箭头所示。在实际仪表中，前向部分和反馈部分

常常还包含许多环节。

输入转换部分是一个线性环节，一般由高精度和高稳定性的元、部件构成；比较部分也由线性元、部件构成，用以保证各个被综合的信号在该部分进行线性叠加（或称线性综合）；放大部分是一个高增益的放大器（气

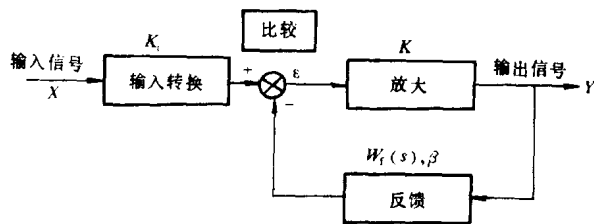


图 1-3 模拟量控制仪表的组成原理图

动放大、液动放大、机械放大、磁放大或电子放大等），用以保证足够的输出功率和负反馈平衡的精度；反馈部分是由高精度和高稳定性的元、部件组成的各种运算电路，用来获得比例或其他运算关系。仪表参数的调整环节一般都附设在输入转换部分和反馈部分。

进入比较部分被综合的信号，其形式可以是力、力矩、位移或电量。由于是以反馈量去平衡输入量，其方向或符号相反，当它们（接近）相等时，系统处于平衡状态，这时仪表的输出信号达到稳定，在仪表中通常称为平衡原理，有力（力矩）平衡、位移平衡和电平衡之分。

二、负反馈原理及其应用

由上所述可知，一台控制仪表，必定由各个环节组成，信号的传递是顺着环节的方向按先后次序进行的。所谓负反馈，对控制仪表来说，就是把前向通道的输出量（力、力矩、位移、电流、电压）以一定的方式馈送到前向通道的输入端，与输入量相比较、平衡。图 1-2 (b) 中放大部分和反馈部分作为两个环节构成负反馈闭环系统。

设前向通道放大倍数为 K ，反馈环节的传递函数为 $W_f(s)$ ，整个负反馈闭环系统的传递函数为

$$W(s) = \frac{K}{1 + KW_f(s)} = \frac{1}{\frac{1}{K} + W_f(s)}$$

当 $K \gg 1$ 时

$$W(s) = \frac{1}{W_f(s)} \quad (1-1)$$

上式说明，当前向通道的放大倍数 K 足够大时，整个负反馈闭环系统的传递函数等于反馈环节传递函数的倒数，而与前向通道无关。这是在电子技术和控制理论中所熟知的结论。反过来说，如果要求控制仪表具有已知的动态特性，则仪表反馈环节的传递函数应为该仪表的传递函数 $W(s)$ 的倒数，即

$$W_f(s) = \frac{1}{W(s)} \quad (1-2)$$

对于仪表中的放大环节， $K \gg 1$ 的条件普遍都是满足的，但 K 不可能是无穷大，因此，偏差值 ϵ 无论怎样小，但不会等于零。由于前向通道是一比例环节，只要输出端有一定的 Y 值，输入端就必然有一定的 ϵ 值。可见从理论上讲，这样的反馈仪表有偏差才能工作，就不可能完全没有误差（偏差），本身是一个“有差控制系统”。大部分控制仪表（如平衡式变送器、调节器等）都是根据这一原理工作的。

负反馈原理在模拟控制仪表中得到多方面的应用：

(1) 实现调节器的动作规律：在调节器内部反馈回路中，采用不同的环节，就得到不同的动作规律。例如在控制系统中，经常用到具有PI动作规律的调节器，该仪表反馈环节的传递函数应为已知PI调节器的传递函数的倒数：

$$W_i(s) = \frac{1}{\frac{1}{P} \left(1 + \frac{1}{T_I s} \right)} = \frac{PT_I s}{T_I s + 1} \quad (1-3)$$

上式代表一个实际微分环节。因此，用一个实际微分环节作为一个放大倍数足够大的放大器的反馈部分，就得到一个理想的PI调节器。目前工业上使用的模拟式调节器，无论是电动的还是气动的，都采用这种原理构成。构成调节器时，可采用标准放大器，只要改变输入或反馈回路的内容，便可获得不同类型和不同调节规律的调节器。

(2) 实现规定的数学运算：反馈环节与整个闭环放大器在运算功能上恰好是相逆的。据此，采用不同的反馈环节可以构成不同的运算器。例如，可以使仪表的反馈环节完成平方运算而制成开方器，使反馈环节完成乘法运算而制成除法器。调节器其实也是运算器。

(3) 仪表特性的线性化：一些检测元件和仪表具有非线性特性，例如，温度变送器采用铂铑-铂热电偶作一次元件，而热电偶输出热电势的非线性误差较大，当温度在0~

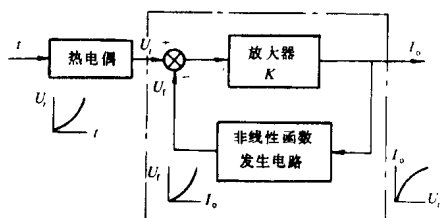


图 1-4 线性化温度变送器方框图

1000℃范围变化时可达6%左右，为使温度变送器的输出电流能与被测温度呈线性关系，可采用非线性负反馈的方法，即在反馈回路内加一非线性函数发生电路来使仪表特性线性化，线性化温度变送器的方框图如图1-4所示。图中，因 $K \gg 1$ ，所以 $U_t \approx U_i$ 。设热电偶的输出电势 U_t 和温度 t 之间的函数

关系为 $U_t = f_1(t)$ ，而非线性函数发生电路输出和输入之间的函数关系为 $U_i = f_2(I_o)$ 。如果使两者一致，即 $f_1(t) \approx f_2(I_o)$ ，那么 I_o 就可以与温度 t 呈线性关系，这是一种“以畸制畸”的方法。

I_o 与 t 呈线性关系的关键在于：① $K \gg 1$ ；② 反馈环节的静特性和热电偶的静特性完全一致。第一个条件较易达到。实现第二个条件，只要把所需热电偶的函数曲线分成若干段，用几段直线段组成的折线去逼近曲线即可。DDZ-Ⅲ型仪表的温度变送器就是用上述原理实现线性化的。

此外，当反馈部分为线性环节时，可以消除闭环中前向环节本身的非线性影响，使仪表具有线性的输出特性。这是一种“以正制畸”的方法，在许多仪表，如转换器、变送器、执行器中都得到应用。

(4) 调整仪表的量程：许多仪表，如变送器、转换器、执行器都要进行量程（满度）调

整。以变送器为例，就是要使变送器输出信号的上限值 Y_{\max} 与测量范围的上限值 X_{\max} 相对应。图 1-3 中，若反馈环节的传递系数（即反馈系数）为 β ，当 $K\beta \gg 1$ 时，可得

$$Y_{\max} = \frac{K_i}{\beta} X_{\max} \quad (1-4)$$

或

$$\Delta Y_{\max} = \frac{K_i}{\beta} \Delta X_{\max} \quad (1-5)$$

可见，改变反馈系数 β ，即改变负反馈的强弱程度，可以调整量程。 β 大，则量程大； β 小，则量程小。有的仪表还可以通过改变输入转换部分的特性，即改变输入转换系数 K_i 来调整量程。

(5) 改变仪表的时间常数：图 1-5 中，设前向环节为一惯性环节，其时间常数为 T ，加负反馈环节后：

$$W(s) = \frac{\frac{K}{Ts+1}}{1 + \frac{K}{Ts+1}F} = \frac{K}{Ts+1+KF} = \frac{\frac{K}{1+KF}}{\frac{Ts}{1+KF} + 1}$$

可见，时间常数和增益都减小为原来的 $1/(1+KF)$ 。时间常数的减小，使仪表具有较快的响应速度。

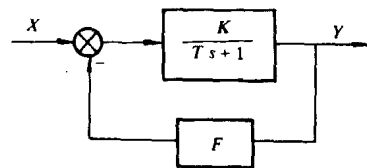


图 1-5 前向部分为惯性环节的反馈放大器方框图

(6) 使仪表获得恒流、恒压输出性能：由电子学可知，输出电流负反馈使输出阻抗增加，从而稳定输出电流；输出电压负反馈使输出阻抗减小，从而稳定输出电压。DDZ-Ⅱ型仪表为电流输出型，故

采用电流负反馈；DDZ-Ⅲ型仪表和组件组装式仪表以集成运算放大器为基本元件，普遍为电压输出型，故采用电压负反馈。

(7) 使仪表同时获得高灵敏度、高准确度和高稳定度：灵敏度、准确度和稳定度是仪表的三项重要指标。对于闭环仪表，有关仪表灵敏度和误差理论分析表明，同时从反馈原理也不难理解：由于前向环节和负反馈环节的误差具有相反的符号，前向环节的误差得以抵消或减小，仪表的相对误差小于未加负反馈时前向环节的相对误差。当负反馈深度足够大时，闭环仪表的灵敏度和准确度都主要由反馈回路的特性来决定。这一结论是闭环仪表比开环仪表容易获得高准确度和高灵敏度的理论依据。在做法上主要采取提高前向环节的放大倍数以及减小反馈环节的误差两个途径，使仪表同时获得高准确度和高灵敏度，较好地解决了开环仪表在准确度和灵敏度之间的矛盾。此外，由于反馈回路一般都是由一些性能稳定的无源元件，如电阻、电容等组成的，即使放大器的放大倍数有所变动，闭环传递函数仍能稳定，故仪表的稳定度高。

(8) 实现仪表的无差平衡原理：以上是在前向通道为一比例放大环节或惯性环节的条件下讨论的。如果如图 1-6 所示，放大部分为积分环节 $\left(\frac{K}{s}\right)$ ，则可得整机的传递函数