

高等学校教材

过程控制调节装置

(修订本)

天津大学 向婉成 主编

GAO DENG XUE
XIAO JIAO CAI

机械工业出版社

高等学校教材

过程控制调节装置

(修订本)

天津大学 向婉成 主编



机械工业出版社

本书是在1981年出版的《过程控制调节装置》基础上修订的。全书共分两篇：第一篇为模拟式调节装置，主要讲述变送器、转换器、运算器和模拟式调节器；第二篇为数字式调节装置，主要讲述以微型计算机为基础的数字式调节器的原理、硬件和软件设计，数字滤波器的设计方法以及单回路数字调节器的构成和原理。

本书为高等院校工业自动化仪表专业及其它仪表自动化专业的教材和教学参考书，亦可供工程技术人员自学和参考。

EQ 14

过程控制调节装置

(修订本)

天津大学 向婉成 主编

*

责任编辑：邱锦来

封面设计：方 芬

*

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南里一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16·印张21 1/4·字数 518 千字

1981年9月北京第一版

1987年6月北京第二版·1987年6月北京第五次印刷

印数 25,851—29,700·定价：3.55元

*

统一书号：15033·5053

前 言

本书是在 1981 年出版的高等学校试用教材《过程控制调节装置》基础上,根据 1983 年 12 月高等学校工业自动化仪表教材编审小组制订的教学大纲及审定的修改大纲修订的。

全书共分两篇。第一篇为模拟式调节装置,讲述了过程控制调节装置的分类、发展、信号制和供电方式;本质安全防爆问题;变送器和信号转换器;运算器;模拟式调节器及执行器。第二篇为数字式调节装置,主要讲述以微型计算机为基础的数字式调节器的原理、硬件和软件设计;数字滤波器的设计方法以及单回路数字调节器的构成和原理。与第一版相比,模拟部分进行了适当的增删,保留了基本内容;数字部分进行了重新编写,使数字调节装置的内容得到加强,以适应调节器发展的需要。带 * 号的内容,教师可根据不同情况加以选用。

本书为高等院校工业自动化仪表专业及其它仪表自动化专业的教材和教学参考书,亦可供有关工程技术人员自学和参考。

本书由向婉成和刘宝坤两同志负责修订,刘宝坤同志修订第一、二、四、六、七、八、九章以及第三章的 § 3-3 和第十章的 § 10-4,向婉成同志修订第三章的 § 3-1、§ 3-2,第五章和第十章的 § 10-1、§ 10-2 及 § 10-3。参加本书第一版编写的同志还有陈启明和高紫光同志。

本书由哈尔滨工业大学杨涤同志担任主审,参加审稿工作的同志还有孙光裕同志和徐文辉同志。

由于我们水平有限,实践经验不多,书中难免有不当和错误之处,恳切希望读者提出批评指正。

编者

1986. 8

目 录

第一篇 模拟式调节装置

第一章 概论	1
§ 1-1 模拟式调节装置的分类和发展	1
一、模拟式调节装置的分类	1
二、模拟式调节装置的发展	3
§ 1-2 信号制及供电方式	4
一、信号制	4
二、变送器信号传输方式	7
三、供电方式	9
第二章 防爆栅	12
§ 2-1 安全防爆的基本概念	12
一、危险场所的分类、分级	12
二、爆炸性混合物的分级、分组	12
三、防爆仪表的类型	13
§ 2-2 安全火花型防爆仪表的设计要点	15
一、降低安全火花电路的能量	15
二、设置防爆安全栅	16
三、机械隔离措施	17
四、其它安全措施	17
§ 2-3 防爆安全栅的原理	17
一、电阻式防爆栅	17
二、齐纳式防爆栅	18
三、中继放大式防爆栅	18
四、隔离式防爆栅	19
第三章 变送器和转换器	23
§ 3-1 DDZ-Ⅱ型力平衡式差压变送器	23
一、结构和工作原理	23
二、位移检测放大器	27
三、差压变送器的误差分析	30
§ 3-2 DDZ-Ⅱ型温度变送器	31
一、直流毫伏变送器	32
二、热电偶温度变送器	35
三、热电阻温度变送器	38
§ 3-3 转换器	42
一、 I/U 转换器	43
二、 U/I 转换器	46

三、 U/F 转换器	47
四、 F/U 、 F/I 转换器	51
五、 U/H 转换器	53
六、光电隔离器	56
第四章 运算器	62
§ 4-1 概述	62
§ 4-2 加减器	64
§ 4-3 乘除器	70
一、概述	70
二、采用自激振荡时间分割线路的乘除器	73
三、采用他激振荡式时间分割线路的乘除器	89
§ 4-4 开方器	95
一、概述	95
二、用乘除器变形电路的开方器	95
三、利用二极管开关电路的开方器	98
四、利用电容器充放电特性实现开方运算的开方器	99
第五章 模拟式调节器	102
§ 5-1 PID 调节规律及实现方法	102
一、调节规律	102
二、基本运算电路	112
三、PID 运算电路的构成	122
§ 5-2 普通型 PID 调节器	130
一、PID 调节器的组成及原理	131
二、DDZ-Ⅱ型调节器的原理和特性	132
三、Ⅲ型调节器的参数计算	148
§ 5-3 电压整定型 PID 调节器	165
一、概述	165
二、基本 PID 运算电路	166
三、转换电路	172
四、输出限幅电路	173
§ 5-4 特种调节器	174
一、输出限幅抗积分饱和调节器	175
二、非线性调节器	176
三、DDC 备用调节器	178
第六章 执行器	182
§ 6-1 概述	182
一、执行器的分类及组成	182
二、电动执行器的组成及分类	183
三、电动执行机构的主要技术要求	183
四、电动执行机构的构成原理	184
§ 6-2 DKJ 角行程电动执行机构	185
一、DZA 执行机构	185

二、DFC 伺服放大器	192
三、DKJ 电动执行机构的特性	200
§ 6-3* DKZ 直行程电动执行机构	201
一、执行机构	201
二、伺服放大器	204

第二篇 数字式调节装置

第七章 数字式调节装置概论	207
§ 7-1 数字式调节装置的分类与发展	207
一、数字式调节装置的分类	207
二、数字式调节装置的发展	212
§ 7-2 数字式调节装置的构成	213
§ 7-3 单回路调节器简介	215
第八章 过程输入通道	217
§ 8-1 过程输入通道的构成原理	217
一、标度变换器	217
二、采样器	220
三、数据放大器	221
四、模/数转换器	222
§ 8-2 模拟量输入通道	223
一、输入方式	223
二、采用 8 位 A/D 转换芯片的模拟量输入通道	224
三、采用 12 位 A/D 转换芯片的模拟量输入通道	234
§ 8-3 开关量输入通道	243
§ 8-4 过程通道的抗干扰技术	245
一、串模干扰及其抑制	246
二、共模干扰及其抑制	247
第九章 过程输出通道	250
§ 9-1 模拟量输出通道	250
一、概述	250
二、采用 8 位 D/A 芯片的模拟量输出通道	251
§ 9-2 开关量输出通道	257
第十章 数字调节器	258
§ 10-1 概述	258
§ 10-2 数字 PID 调节器	260
一、PID 控制算式	260
二*、以 PID 控制为基础的高级控制方式	265
三、PID 控制程序	271
四、多通道数字 PID 调节器	280
§ 10-3* 数字滤波器	285
一、概述	285
二、IIR 数字滤波器的设计	290

三、数字滤波器的实现	300
§ 10-4 SLPc可编程调节器	304
一、概述	304
二、基本运算功能	306
三、控制功能及其基本应用方法	310
四、控制功能的扩展	315
五、控制元件的功能	320
六、通讯功能	322
七、自诊断功能和停电处理	324
附录通用子程序	325
参考文献	332

第一篇 模拟式调节装置

过程控制调节装置是工业生产自动化的重要工具，当代的过程控制调节装置分两大类：模拟式过程控制调节装置（简称模拟式调节装置）和数字式过程控制调节装置（简称数字式调节装置）。本篇只涉及模拟式调节装置，有关数字式调节装置将在第二篇中讲述。

第一章 概 论

§ 1-1 模拟式调节装置的分类和发展

模拟式调节装置在工业过程控制系统中占有重要地位。在过程控制系统中，由检测仪表将过程参数变成为电的信号或气压信号后，不单要由显示仪表指示或记录，让人们了解生产过程的情况，还需要将信号传送给过程控制调节装置，以便自动地控制生产正常进行，使过程参数符合预期的要求。

在这里，我们所指的过程控制调节装置，包括除检测、显示单元以外的自动化工具，如变送器、调节器、运算器及执行器等调节仪表，以及过程控制计算机等新型控制调节装置。

一、模拟式调节装置的分类

模拟式调节装置按所用能源的不同，可以分为电动、气动、液动和混合式等几类。其中，气动和液动调节仪表的发展已有几十年的历史，电动调节仪表的发展则是近三十多年的事。气动调节仪表的特点是结构简单，易于掌握；性能稳定，可靠性高；具有本质上安全防护性能，特别适用于石油、化工等有爆炸危险的场所。

随着生产过程自动化的发展，远距离集中控制日益增多，过程控制系统规模和复杂程度不断增加，气动和液动调节仪表在许多场合已不能满足要求，而电动调节仪表则得到越来越广泛的发展和应用。尤其是随着电子技术的高速度发展，过去被认为影响电动调节仪表发展的一些技术问题，正在逐渐得到解决，品种规格更趋完备，质量不断提高。过去认为影响电动调节仪表广泛使用的防爆问题，现在采用防爆结构，直流低电压、小电流的安全火花型防爆电路以及防爆栅等措施，得到了很好的解决。电动调节仪表也就能应用到石油、化工等工业部门的自动化系统中。

电动调节仪表之所以能得到这样高速度的发展，是由于它与气动、液动调节仪表相比，具有以下优点：

- (1) 电信号可以无滞后地远距离传输，传输距离不受限制；
- (2) 电动调节仪表便于实现复杂的调节规律、远距离集中显示和操作，还易于与计算机等现代化技术工具联用，故适用于大规模的控制系统；
- (3) 中小型生产单位也适于使用电动调节仪表，因它能源方便，不需设有气动仪表所

需的压缩空气那套相当庞大的附属设备。

虽然电动调节仪表的发展日新月异,但气动调节仪表仍然受到欢迎,尤其是气动执行器,具有安全、可靠及工作平稳等优点,应用仍然十分广泛,在许多由电动调节仪表构成的系统中,执行器仍是采用气动的。

模拟式调节装置除按能源分类以外,还可按结构形式分类。按结构形式可分为基地式调节仪表、单元组合式调节仪表、组件组装式控制装置等。

(1) 基地式调节仪表的结构特点是以指示仪表或记录仪表为中心,附加一些线路来完成调节任务,这种指示和记录仪表是电子电位差计、电子平衡电桥以及动圈仪表等。基地式调节仪表一般结构比较简单,价格较低,它不仅能进行调节,同时还可指示记录,因此适用于小型企业和单机自动控制系统。

我国生产的 XCT 系列动圈式调节仪表和 TA 系列简易式电子调节器均属基地式调节仪表。前者采用分立元件,是在动圈式指示仪表基础上发展而得;后者采用了集成电路与分立元件兼用的方式,且其中各种功能的线路力求典型化、通用化和结构组件化。

(2) 单元组合式调节仪表的结构特点是:根据自动检测及调节系统中各组成环节的不同功能和使用要求,将整套仪表划分为能独立实现一定功能的若干单元,各单元之间的联系采用统一标准信号,由这些少量的单元经过不同的组合,就可构成多种多样的、复杂程度不同的自动检测和调节系统。

单元组合式调节仪表应用灵活、通用性强,便于调节仪表的生产、维修、备品库存等。它适用于大、中型企业的自动控制系统。

电动单元组合仪表取电(Dian)、单(Dan)、组(Zu)三个字的拼音第一个字母 DDZ 来表示。

我国最早研制成功的电动单元组合仪表是 DDZ-I 型,它是采用电子管的,具有体积较大、笨重、耗电量较大、易引燃引爆等缺点。DDZ-II 型仪表是以晶体管为主要元件,不仅体积缩小、重量减轻,而且性能也得到改善。DDZ-III 型仪表采用线性集成电路为核心组件,具有安全火花防爆性能,并为接受电子计算机信息提供了有效的技术手段。

我国由日本横河引进的 I 系列仪表是一种采用集成电路的电动单元组合仪表,目前正在步入国产化。

气动单元组合仪表用 QDZ 表示。

(3) 组件组装式控制装置是在单元组合式仪表基础上发展起来的成套仪表装置,它的基本组成件是一块块功能分离的组件。

因为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,这就需要将调节功能和显示操作功能分离开来。因此,组件组装式控制装置在结构上一般可分为控制柜和操作盘两大部分,控制柜内插入若干个组件箱,而若干块组件板又插入组件箱中。组件板在控制柜中是高密度的安装,充分利用了空间,所有机柜可放在机房或控制室平时不被利用的方位上。显示操作盘则只需占很小的地方,再进一步可用一台电子屏幕(图象显示)集中显示操作,从而大大改善了人-机联系。在控制柜中各个组件之间的信息联系,采用矩阵端子接线方式,接线工作都集中在矩阵端子接线箱里进行。这些都是组件组装式控制装置在结构上的特点。

基于上述结构特点,组装仪表可由仪表制造厂预先根据用户要求组装好整套自控系统,

再以成套装置形式提供给用户。从而可使自控系统的现场施工设计、系统安装和系统调试工作量大大减小,也使维护、检修和系统改组工作大大简化。

组装仪表除上述结构特点之外,它还兼用了模拟技术与数字技术,并能与工业控制机、程控装置、图象显示等新技术工具配合使用。因此它特别适用于大型、高效率的新型设备的自动化。

我国生产的 TF 型控制装置及 MZ-Ⅲ型控制装置均具有上述特点。

在国外,自 1972 年以后,组装式仪表作为商品就已大量出现。七十年代中期我国开始引进了一些成套装置,如:发电厂成套工艺设备、年产 30 万 t 合成氨的化肥成套装置等,其中分别采用了不同系列的组装式仪表:日立厂的 Hiacs1000 系列;Bailey 公司的 Bailey 820 和 9020 系列;瑞士 Sulzer 厂的 AV-Ⅳ系列;美国霍尼威尔公司的 Vutronik 系列(简称 V 系列)。

二、模拟式调节装置的发展

从最原始的直接作用式调节器开始,到基地式调节仪表出现,它们对工业生产都起着促进作用。生产的发展对工业仪表及调节装置不断提出新的要求,从而又促进了它们的发展。随之出现了单元组合仪表,它很快便经历了Ⅰ型、Ⅱ型及Ⅲ型三种型式。虽然至今单元组合式仪表仍广泛应用于许多工业部门,然而随着石油、化工、冶金、电站等各工业部门大型、高效率、临界参数的新型生产设备相继出现,对过程控制装置又提出了许多新的要求,主要有以下几方面:

1. 控制功能多样化 按照设备运行的要求,不但要有各种反馈控制功能和新的调节规律,如前馈控制、非线性控制等,而且还要有程序控制和各种联锁保护。

2. 系统要便于功能扩展 自动化系统可以由简单到复杂逐步改进。由于生产工艺的变化,也要求系统易于作相应的变化,这些都要求仪表装置能灵活的组成各种控制系统。

3. 要求解决好模拟仪表与计算机的兼容性问题 计算机用于工业控制已有二十多年,不论在系统上,软件上和硬件上都已积累了很多经验。实践证明,计算机用于自动控制是提高自动化水平的重要方面,尽管在实际使用上还存在着一些问题,但随着技术的进步,如微处理机的出现,总会找出一条简便、合理和可靠的道路来。一般说来,计算机控制必定会和模拟仪表发生联系,如信息的获取,控制量的改变都离不开模拟仪表,直接数字控制在一些关键回路上往往要用模拟调节器作后备,给定值控制更必须通过模拟调节器去控制生产过程,因此全面考虑模拟仪表与工业控制机的兼容性是一个重要问题。

4. 要求对仪表和系统的可靠性采取严密的有效措施 由于新型的大工业装置很多是工作在临界状态下,因此对自动控制的可靠性提出了极苛刻的要求,不单要求提高仪表装置的质量,提高它本身的可靠性,还要在系统方面采取严密的监控、保护措施,使得一旦系统发生故障或问题,就能迅速判断它的性质,迅速采取相应措施,防止事故进一步扩大。同时,指出故障的具体地点,为迅速排除故障创造条件。

5. 要求操作简便 随着大型、高效率、临界工艺装置的出现,自控系统愈来愈庞大,愈来愈复杂,所用的控制调节仪表也愈来愈多。以某发电厂的 30 万 kW 发电机组为例,采用 DDZ-Ⅱ型仪表对热工参数进行自动控制,仪表盘面长达十几米,操作把手多至 400 多只。启动时,人员拥挤,启动时间长达 10 h 左右,增加了操作人员的负担。在平时,监视十几米长的仪表盘面也很辛苦,一旦发生事故,难免顾此失彼。

为了改善操作条件,需要将工业自动化仪表各个领域的最新成就综合利用,如利用程序控制技术、数字逻辑技术、字符图象显示技术及数据通讯技术,使主设备的启停实现自动化,采用电子屏幕的集中显示代替大量模拟监视仪表等。

6. 要求解决系统安装工程问题 仪表制造部门不再只是生产单件仪表,还要针对用户的要求,考虑系统安装工程的问题,使整套自控系统在仪表厂就预先装好。这样做可大大减轻设计单位和安装单位的工作量,加速了基建周期,减少了安装成本。

为了适应以上这些要求,近年来发展了许多新型控制装置,组装式控制装置就是这样的综合控制装置。

但是也应该看到,各种过程控制调节仪表都有自己的适用范围,都需要不断地发展。例如小型企业和单机的自动控制,需要用结构和操作都简单、价格也便宜的简易式调节仪表;大中型企业则适于应用单元组合式仪表;而组装式控制装置则适用于现代化的、容量大、具有临界参数、系统复杂及安全可靠性要求高的工业装备上。

§ 1-2 信号制及供电方式

一个过程控制调节系统由许多仪表(或装置)组成,这些仪表一般包括以下几类:

- (1) 变送器:用来测量压力、温度、液位、流量及电导率等物理参数;
- (2) 显示及记录仪表;
- (3) 信号处理仪表或装置:包括运算器、调节器、其它监控仪表以及控制机等;
- (4) 执行器:包括电-气转换器、电动执行器及气动执行器等。

大部分变送器、电-气转换器及执行器等都是直接安装在工业设备和工业流程的管路上,这些现场仪表常暴露在露天以及有爆炸危险的场所。

显示及记录仪表以及信号处理仪表或装置,还有一部分变送器(如温度变送器)是安装在无爆炸性危险的控制室内。现场仪表相互间大多互不连接,而只和控制室内仪表相连。控制室内的仪表则以多种方式相互连接。

由于在系统中仪表之间的输入和输出相互连接,所以需要有统一的标准联络信号,才能方便地把各个仪表组合起来,构成各种系统。因此,信号制是一个重要的问题。在这里,我们将对各种信号制进行分析比较,并简要介绍与信号制有关的变送器信号传输问题及电动调节仪表的供电方式问题。

一、信号制

信号制是指在成套仪表系列中,各个仪表的输入、输出信号采用何种统一的联络信号问题。采用统一信号不仅使各个仪表间的任意联用成为可能,而且还有以下好处:

1. 由于各种被测参数转换为统一信号,便于与巡回检测装置、顺序控制装置及控制计算机等现代技术工具配合使用,同时还可以使得指示、记录仪表单一化。
2. 采用统一信号,可以通过各种转换器如气-电转换器、电-气转换器等将电动仪表和气动仪表联系起来,混合使用,从而扩大仪表的使用范围。

气动调节仪表的输入、输出信号,过去统一使用 $0.2\sim 1\text{kgf/cm}^2$,据当前国标改为 $0.02\sim 0.1\text{MPa}$ 的模拟气压信号。电的信号种类较多,主要有模拟信号、数字信号、频率信号和脉宽信号等四大类。因为模拟式仪表及装置的结构较简单,历史长,目前也应用得最

多,尤其是大部分变送器和执行器是模拟式的,因此在工业控制系统中,不论是远距离传输或是控制室内部各仪表间,用得最多的联络信号仍然是电模拟信号。

由于有一些变送器直接输出频率信号(如涡轮流量计等),以及频率信号有抗干扰能力强、易于实现数字化等优点,因此频率信号也是一种传输信号。脉宽信号是一种周期固定而宽度随测量值变化的脉冲信号。它有以下优点:便于隔离、抗干扰性好、传输滞后不会引起误差及便于数模相互转换等,因此在有的数字装置中作为内部统一信号。

由于仪表装置间的传输信号尤其是远距离传输信号主要是模拟信号,因此采用一个统一的联络信号是一个极重要的问题。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。从信号范围看,下限可以从零开始,也可以不从零开始(即有一个活零点);上限也可高可低。如何确定统一信号的种类和范围,对整套仪表的技术性能和经济性有着直接的影响。下面对几种电信号进行分析比较。

(一) 直流信号与交流信号比较,直流有以下优点:

1. 在信号传输线中,直流不受交流感应影响,易于解决仪表的抗干扰问题。
2. 直流不受传输线路的电感、电容及负荷性质的影响,不存在相位移问题,使接线简化。
3. 用直流信号便于进行模数转换,因而巡回检测,数据处理装置、顺序控制装置以及控制计算机等技术工具都是以直流信号作为输入信号的。统一信号采用直流信号便于与这些装置配用。

4. 直流信号容易获得基准电压。

因此,世界各国都以直流电流和直流电压作为统一信号。

(二) 直流电流信号

应用电流作为统一信号时,如一个发送仪表的输出电流要同时输送给几个接收仪表,那末所有这些仪表必须串联连接,如图 1-1 所示。

图中 r_o 为变送器的输出电阻, 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,由它们组成为变送器的负载电阻。在实际使用中,导线长度及接收仪表个数是可以在一定范围内变化的,因此负载电阻也不是定值。由于发送仪表的输出阻抗 r_o 不可能无限大,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。因此对发送仪表的要求是:负载在一定范围内变化时,输出电流的变化应小于容许值,这即是所谓“恒流性能”。

电流信号的传输误差可用公式表示为

$$\varepsilon = \frac{I - \frac{r_o}{r_o + (R_{cm} + nr_i)} I}{I} = \frac{R_{cm} + nr_i}{r_o + R_{cm} + nr_i} 100\% \quad (1-1)$$

n 为接收仪表个数。由式 (1-1) 可见,为保证传输误差在允许范围内,要求 $r_o \gg R_{cm} + nr_i$, 此时有

$$\varepsilon \approx \frac{R_{cm} + nr_i}{r_o} 100\% \quad (1-2)$$

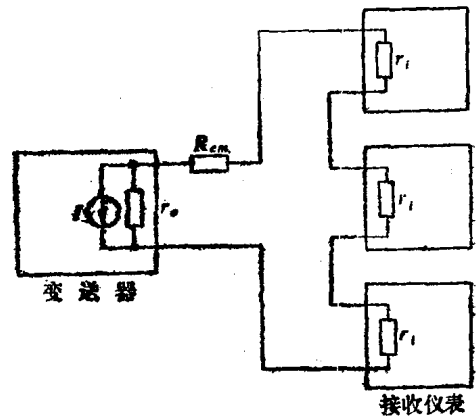


图1-1 应用电流信号时,接收仪表之间的连接

可根据允许误差和技术经济指标确定 r_o 及 r_i 。一般为保证信号在 3~5km 内传输不受影响,同时考虑到一个发送仪表的输出电流能同时送给几个接收仪表,要求它的输出电阻 r_o 足够大,而接收仪表如调节器等的输入电阻 r_i 应很小。

从上述分析可以看出,当以电流信号传输时,发送仪表的输出阻抗很高,相当于一个恒流源,传输导线长度在一定范围内变化仍能保证精度,因而直流电流信号适于远距离传输。

1. 电流信号尚有以下优点:

(1) 电流与磁场作用容易产生机械力,设计力平衡变送器等较简单;

(2) 对于要求电压输入的仪表,可在电流回路中串入一个电阻,从电阻两端取得电压供给仪表,因而电流信号应用较灵活。

2. 用电流作为传输信号时,几台接收仪表是相串联的,这种串联制有以下缺点:

(1) 一台仪表损坏或需增加接入仪表时,将影响其它台仪表工作;

(2) 由于串联工作,所以变送器、调节器等的输出端均处于高电压工作,输出功率管易损坏,降低了仪表的可靠性;

(3) 几台仪表串联工作时,由于每两台表相接的端子电位相同,因此在联用时需检查每台表的电路电位是否正确,这就对设计者和使用者在技术上提出了较高的要求。为使联接简单,可使各台表浮空;若各台表要根 据需要选择自己的接地点,则需采用输入输出端进行直流隔离的电路。

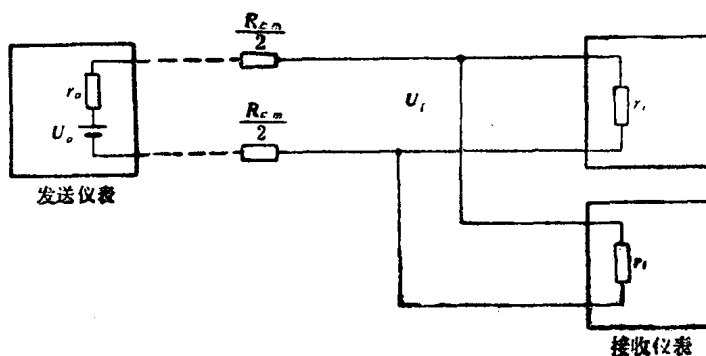


图1-2 应用电压信号时,仪表之间的连接

(三) 电压信号

应用电压信号作为联络信号时,如一个发送仪表的输出电压要同时输送给几个接收仪表,则几台接收仪表应并联连接,如图 1-2 所示。

在并联连接时,由于接收仪表的输入阻抗 r_i 不是无限大,信号电压 U_o 将在发送仪表内阻 r_o 及导线电阻 $R_{c,n}$ 上降掉一部分 ΔU ,而造成信号传输误差 ε

$$\varepsilon = \frac{\Delta U}{U_o} = \frac{U_o - U_i}{U_o} = \frac{r_o + R_{c,n}}{r_o + R_{c,n} + \frac{r_i}{n}} \quad (1-3)$$

为减小此误差,一般要满足条件 $\frac{r_i}{n} \gg r_o + R_{c,n}$, 此时式 (1-3) 变为

$$\varepsilon = \frac{\Delta U}{U_o} \approx n \frac{r_o + R_{c,n}}{r_i} \quad (1-4)$$

由式 (1-4) 可见:

1. 为减小传输误差,要求发送仪表内阻 r_o 及导线电阻 $R_{c,n}$ 足够小。如要远距离传输电压信号,增大了 $R_{c,n}$ 势必对接收仪表的输入电阻 r_i 提出过高的要求,而输入阻抗高将易于引入干扰,因此电压信号不适于作远距离传输的信号。

2. 接收仪表输入阻抗越高, 误差越小。当并接的仪表多时, 相当于总的输入阻抗减小, 误差增大, 因此并接的仪表越多, 要求每个仪表的输入阻抗就越大。

用电压作为联络信号时, 由于仪表是并联连接, 它的主要优点是: 在设计安装上比较简单, 增加或取消某个仪表不会影响其它仪表工作; 对仪表的输出级的耐压要求可以降低, 从而提高了仪表的可靠性。

由以上分析可见, 电流信号传输与电压信号传输各有特点; 电流信号适于远距离传输, 电压信号可采用“并联制”连接。因此在国外比较新的电动仪表系统中以及我国的 DDZ-III 型仪表中, 进出控制室的传输信号采用电流信号, 控制室内部各仪表间联络信号为电压信号, 即连线的特点是电流传输、电压接收、并联接受电压信号的方式。

(四) 信号上下限大小的比较

电流信号上限大, 产生的电磁平衡力大, 有利于力平衡变送器的设计制造。从减小直流电流信号在传输线中的功率损失和缩小仪表体积, 以及提高仪表的防爆性能等方面看, 希望电流信号上限小些好。

信号下限从零开始, 便于进行模拟量的加、减、乘、除、开方等数学运算和使用通用刻度的指示、记录仪表。信号下限不从零开始, 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; 使半导体器件工作在较好的工作段; 使制作具有安全火花防爆性能和节约传输线的两线制变送器成为可能。

目前, 由于集成运算放大器的应用逐渐普及, 比较新型的电动模拟仪表都已采用集成运算放大器, 电压信号的上限值的选取对它的性能指标要求有很大的影响, 因而对仪表的技术经济指标也有影响。上限值高些, 可以降低对集成运算放大器失调参数的要求, 有利于仪表的生产和降低成本; 但是上限值高了对运算放大器的输出幅度和共模电压范围的要求也相应增加。

1973 年 4 月国际电工委员会 (IEC) 第 65 次技术委员会通过的标准规定了国际统一信号, 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 型电动单元组合仪表就采用了国际统一信号。我国的 TF-900 型组装式电子综合调节仪表系统的运算信号采用了 $0\sim 10\text{V DC}$, 主要考虑信号从零开始, 运算方便, 容易进行标度变换, 显示也比较直观; 由于电平较高, 对各组件中的集成运算放大器失调参数要求可以降低, 以及对记录仪的要求也可以降低等等。考虑到我国的 DDZ-I 型电动单元组合仪表已广泛用于各生产部门, 并且今后仍将会大量选用, 而 DDZ-I 型仪表的信号为 $0\sim 10\text{mA DC}$, 为便于与 DDZ-I 型和 DDZ-III 型的变送器和执行器配用, 因此 TF-900 型组装式电子综合调节仪表系统中考虑了 $0\sim 10\text{mA DC}$ 信号及 $4\sim 20\text{mA DC}$ 信号与 $0\sim 10\text{V DC}$ 信号的相互转换问题。

二、变送器信号传输方式

变送器是现场仪表, 它的电源从控制室中送来, 而输出信号需送到控制室中去。信号与电源的传输方式有三种:

1. 四线制传输 供电电源与输出信号分别各用两根导线传输, 这样的变送器称为四线制变送器, 如图 1-3 所示。现在用的大部分变送器是这种形式。由于电源与信号分别传送, 因此对电流信号的零点及元件的功耗没有严格的要求。

2. 三线制传输 在这种传输方式中, 电源与信号除分别各用一个导线外, 还有一根为

两者的公用线，共用三根导线，这种变送器称为三线制变送器，如图 1-4 所示，这种变送器需要有专门的电源装置，将变送器负载的一端与电源的一端接在一个公共点上。

3. 两线制传输 两线制变送器是用两根导线作为电源和输出信号的公用传输线，如图 1-5 所示。

两线制变送器相当于一个可变电阻，其阻值由被测参数控制，电源、变送器和负载是串联的，当被测参数改变时，变送器的等效电阻随之变化，因此流过负载的电流也变化。

要实现两线制变送器必须具有以下条件：

(1) 采用有活零点的电流信号。因为在变送器输出电流的零点下限值时，半导体器件必须有正常的工作点，需要由电源供给正常工作的功率，由于电源线与信号线公用，电源供给线路的功率是通过信号电流提供的，因此信号电流必须有活零点。国际统一电流信号采用 $4\sim 20\text{mA DC}$ ，为制作两线制变送器创造了条件。

(2) 必须是单电源供电。所谓单电源是指以零电位为起始点的电源，而不是与零电位对称的正负电源。

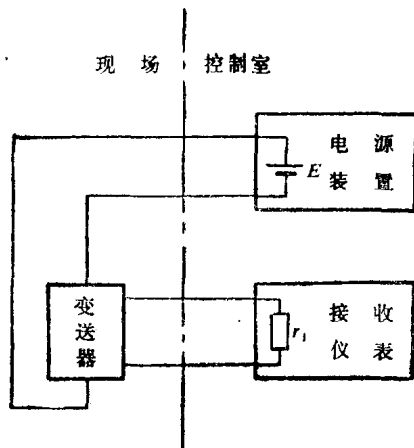


图1-3 四线制变送器

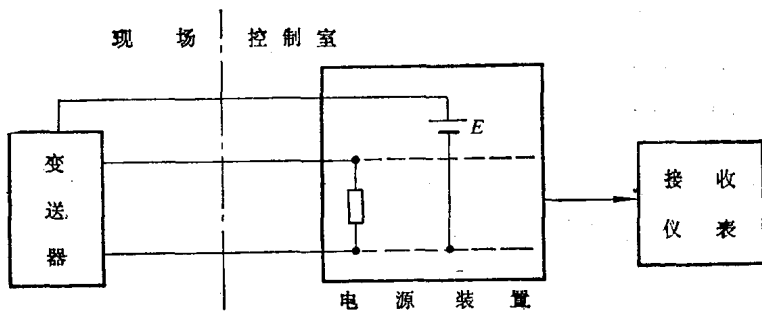


图1-4 三线制变送器

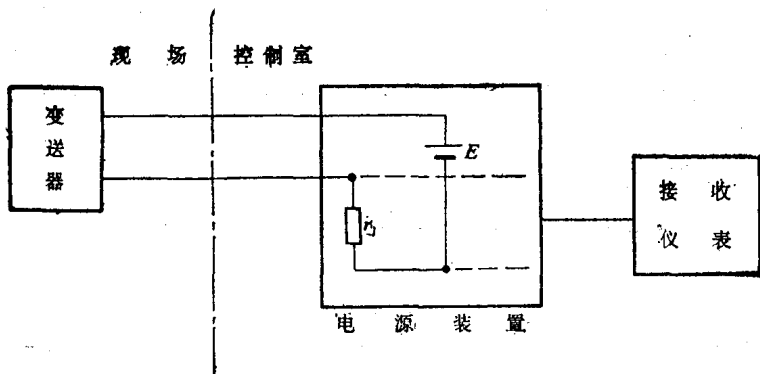


图1-5 两线制变送器

两线制变送器的优点很多,可大大减少装置的安装费用,有利于安全防爆等。因此目前世界各国都大力发展两线制变送器。制作两线制变送器的主要困难是要求有性能良好的低功耗集成运算放大器和稳压管。

三、供电方式

电动仪表都需要电源供给能量,供电方式在电动仪表中也是一个重要的问题。现在的电动仪表大致有两种供电方式:交流供电和直流集中供电。

1. 交流供电 在各个仪表中分别引入工频 220 V 交流电压,再用变压器降压,然后又用整流器、稳压器进行整流稳压作为各自的电源,在早期的电动仪表系统中多用这种供电方式。这种供电方式需要在每块表中附加电源变压器、整流器及稳压器线路,因此增加了仪表的体积和重量;由于变压器的发热增加了仪表的温升;由于 220 V 交流直接引入仪表中,降低了仪表的安全性,这些都是它的缺点。在现代的大型控制系统中,需要仪表的数量很大,对仪表的安全性能要求提高,这个问题就更显得突出了。

2. 直流集中供电 直流集中供电是各个仪表统一由直流低电压电源箱供电。工频 220 V 交流电压在电源箱中进行变压、整流滤波以及稳压后输出直流低电压供给各仪表电源。集中供电的好处很多:

(1) 每块表省去了电源变压器及整流、稳压部分,从而缩小了仪表的体积,减轻了重量,并减少了发热元部件,使仪表温升低。

(2) 由于采用直流低电压集中供电,可以采取防停电措施,当工业用 220 V 交流电断电时,能自动投入直流低电压(如 24 V)备用电池,从而构成无停电装置。

(3) 没有工业用 220 V 交流电进入仪表,为仪表的防爆提供了有利条件。

在有的电动仪表中,为了使电源电压单一化,采用统一的电压,又由于两线制变送器需要用单电源供电,因此整套仪表都采用单电源,如 DDZ-III 型电动单元组合仪表都采用 24 V DC 作为电源电压。单电源及集中供电都给电子线路带来一些问题,需要在电路设计上加以考虑。

(1) 单电源供电带来的问题及其解决方法 单电源供电带来的问题是:在 1~5 V 信号输入时,集成运算放大器的正负输入端电位超出了共模电压范围,使运算放大器不能正常的工作,甚至造成损坏。

集成运算放大电路在设计时是采用正负电源供电方式,一般手册上给出的共模电压范围都是指的电源电压为 ± 15 V DC 时的值,改用单电源供电后,共模电压范围的数值发生相应的变化。如集成运算放大器 BG305 在 ± 15 V DC 电压供电时,共模电压范围为 $+7 \sim -12$ V,而改用 +24 V DC 电压时,共模电压范围变为 $3 \sim 17$ V。在这种情况下,当 1~5 V 电压加到输入端时,运算放大器的正负输入端电位将会超出共模电压范围。解决这个问题的办法是将信号进行电平移动,即在每块表的输入电路中将 0 V 为基准的 1~5 V 信号电压变为以某一电压 U_B (如 10 V) 为基准的信号电压,在仪表内部各级信号均以 U_B 为基准进行运算。输入级采用电平移动方式后可使各级共模电压在运算放大器的共模电压范围内。由于输出信号 1~5 V 仍需以 0 V 为基准,因此在每块表的输出级又需要将信号的基准移到 0 V,即输入级和输出级都需要有电平移动功能。

(2) 集中供电带来的问题及解决方法 集中供电时,电源回路在导线电阻 R_{Σ} 上产生电压降 U_{Σ} ,它与输入电压 U_i 一起加在电路输入端上,将引起附加误差,如图 1-6 所示。