

夏焕彬 张永德 吴国熙 编著

过程控制 仪表及装置

兵器工业出版社

过程控制仪表及装置

夏焕彬 张永德 吴国熙 编著

兵器工业出版社

内 容 简 介

工业过程自动化水平的高低，是衡量该工业部门生产水平的主要标志之一。为了适应工业部门培养大量自动化技术人材的需要，作者在总结多年生产与教学经验的基础上，编写了本书。

本书共七章，分别为：总论、模拟式调节器、数字式调节器、显示及辅助器、运算器、气动调节阀、调校原则与习题。

本书的编写以控制原理为主线，力争做到电气合一，数模合一，强化基础理论，突出重点内容，书后备有习题，便于读者举一反三，进行自学。

本书主要供各工业部门从事过程自动化的技术人员阅读，也特别适合于作为工矿企业职业教育及大专院校有关专业教学用书。

EQ71/12

过程控制仪表及装置

夏焕彬 张永德 吴国熙 编著

责任编辑：张凤英

兵器工业出版社出版发行

(北京市海淀区车道沟10号)

各地新华书店经销

通县电子外文印刷厂印装

开本：787 × 1092 1/16 插页：1 印张：22.625 字数：546千字

1991年2月第1版 1991年2月第1次印刷

印数：1—1400 定价：18.00元

ISBN 7-80038-247-8/TP·15

前 言

近年来,为适应过程自动化飞速发展的需要,模拟式控制装置迅速地更新换代,利用微电子技术推出了一批全新的数字式控制装置。因此,过程自动化专业原有教材已跟不上形势,满足不了教学需要。其中较突出的问题是:

1. 原教材是以仪表产品系列为主线,分为电动调节仪表和气动调节仪表。读者只能就某块仪表了解其个性,无法掌握调节仪表的共性。

2. 急需补充反映现代水平的、新型数字式调节器的内容。这部分内容更能充分反映出调节器应具有的基本功能和扩展功能,更能启迪学生的思考能力和灵活运用能力。

3. 应能适当减缩原订教学时数。

自1982年以来,北京化工学院一直进行着调节仪表课程的改革。主要是:电动与气动合一,注重仪表共性问题的讲解;增加数字式调节器的内容,形成数、模并存;将变送器内容全部移给检测技术及仪表课,该课以控制理论为主线;将总学时控制在90学时左右,其中实验学时不少于24学时。

在上述基础上,我们编写了这本参考教材,定名为过程控制仪表及装置。本书也可供从事过程控制系统设计和维护的工程技术人员参考。考虑到教学需要和读者自学,增加了调校指导原则及习题思考题。

参加本书编写工作的有夏焕彬(第三章),张永德(第一、二、四、五、七章),吴国熙(第六章)。全书由夏焕彬统编。

由于编著者水平不高,书中难免有错误和不足之处,恳请读者批评指正。

编者

1990年12月于北京

目 录

| | |
|-------------------------|----|
| 第一章 总论 | 1 |
| 第一节 过程控制系统与过程控制装置 | 1 |
| 第二节 过程控制装置的分类与发展 | 2 |
| 一、分类 | 2 |
| 二、发展 | 3 |
| 第三节 信号制 | 4 |
| 一、直流信号和交流信号的比较 | 4 |
| 二、直流电流信号 | 5 |
| 三、直流电压信号 | 5 |
| 四、直流电流信号上下限大小的比较 | 6 |
| 第四节 安全防爆的基本知识 | 6 |
| 一、防爆的基本概念 | 6 |
| 二、安全火花型防爆装置及防爆系统 | 8 |
| 第五节 过程控制装置的调节规律 | 9 |
| 一、比例调节规律 | 9 |
| 二、积分调节规律 | 11 |
| 三、比例积分调节规律 | 11 |
| 四、微分调节规律 | 13 |
| 五、比例微分调节规律 | 13 |
| 六、比例积分微分调节规律 | 15 |
| 第二章 模拟式调节器 | 16 |
| 第一节 模拟式调节器概述 | 16 |
| 一、模拟式调节器的分类 | 16 |
| 二、模拟式调节器的构成 | 16 |
| 第二节 模拟式气动调节器 | 18 |
| 一、特点 | 18 |
| 二、构成原理 | 18 |
| 三、基本元件和组件 | 19 |
| 四、波纹管式气动调节器 | 34 |
| 五、集装式气动调节器 | 43 |
| 第三节 模拟式电动调节器 | 53 |
| 一、特点 | 53 |
| 二、构成原理 | 54 |
| 三、全刻度指示调节器 | 55 |

| | |
|-----------------------------|-----|
| 四、DTL-121 调节器 | 77 |
| 第四节 常见模拟式调节器 | 98 |
| 一、基地式气动调节器 | 98 |
| 二、简易式电子调节器 | 104 |
| 第五节 模拟式调节器的使用 | 114 |
| 一、用模拟式调节器克服积分饱和 | 114 |
| 二、用模拟式调节器构成安全火花防爆系统 | 117 |
| 第三章 数字式调节器 | 119 |
| 第一节 SLPC 单回路可编程调节器构成原理 | 119 |
| 一、SLPC 的构成原理 | 119 |
| 二、SLPC 的特点 | 124 |
| 第二节 SLPC 的运算原理 | 125 |
| 一、程序的构成 | 125 |
| 二、各寄存器的功能 | 126 |
| 三、运算寄存器的动作原理 | 127 |
| 四、输入输出信号与内部数据的变换关系 | 127 |
| 第三节 SLPC 主要运算指令分析 | 128 |
| 一、基本运算指令 | 128 |
| 二、函数运算指令 | 132 |
| 三、数字逻辑运算指令 | 138 |
| 四、基本控制运算及功能扩展 | 141 |
| 第四节 SLPC 的自诊断功能与通信功能 | 155 |
| 一、自诊断功能 | 155 |
| 二、通信功能 | 156 |
| 第五节 SLPC * E 功能增强型单回路可编程调节器 | 161 |
| 一、SLPC * E 结构上的改进 | 161 |
| 二、运算和控制功能的增强 | 167 |
| 三、专家系统自整定功能 | 169 |
| 第六节 SPRG 编程器 | 173 |
| 一、编程器的基本功能 | 173 |
| 二、编程器的构成 | 174 |
| 三、编程器的主要键和使用要点 | 175 |
| 四、编写模拟程序的方法 | 177 |
| 第七节 可编程序调节器编程步骤实例 | 179 |
| 第四章 显示及辅助器 | 191 |
| 第一节 概述 | 191 |
| 第二节 显示器 | 191 |
| 一、气动三针记录调节仪 | 191 |
| 二、气动积算器 | 199 |

| | |
|-------------------|-----|
| 三、磁平衡式 电动指示记录仪 | 203 |
| 四、电动积算器 | 216 |
| 第三节 辅助器 | 221 |
| 一、电动便携式操作器 | 221 |
| 二、输入式安全保持器 | 223 |
| 第五章 运算器 | 229 |
| 第一节 概述 | 229 |
| 第二节 模拟式运算器 | 229 |
| 一、电动加减器 | 229 |
| 二、电动乘除器 | 235 |
| 三、电动开方器 | 250 |
| 四、气动乘除器 | 255 |
| 第三节 数字式运算器 | 260 |
| 一、可编程运算器 | 260 |
| 第六章 气动调节阀 | 263 |
| 第一节 气动调节阀的作用及构成原理 | 263 |
| 一、执行器在自动调节系统中的作用 | 263 |
| 二、气动调节阀的构成原理及特点 | 263 |
| 第二节 调节阀的特性分析 | 272 |
| 一、调节阀的节流原理和流量系数 | 272 |
| 二、调节阀的可调比 | 275 |
| 三、调节阀的理想流量特性 | 277 |
| 四、调节阀的工作流量特性 | 280 |
| 五、空化作用及其避免 | 284 |
| 六、压力恢复能力和压力恢复系数 | 287 |
| 第三节 气动执行机构的特性分析 | 288 |
| 一、不平衡力和不平衡力矩 | 288 |
| 二、执行机构的输出力 | 289 |
| 三、允许压差的计算 | 293 |
| 四、执行机构的刚度与调节阀的稳定性 | 293 |
| 五、执行机构的静态特性和动态特性 | 295 |
| 第四节 气动调节阀的选择与计算 | 296 |
| 一、气动调节阀类型的选择 | 296 |
| 二、调节阀流量特性的选择 | 297 |
| 三、调节阀流量系数的计算 | 299 |
| 四、调节阀口径的确定 | 308 |
| 第五节 阀门定位器 | 314 |
| 一、阀门定位器的用途 | 314 |
| 二、阀门定位器的结构及特点 | 315 |

| | |
|----------------------------------|------------|
| 三、反馈凸轮的设计与修正..... | 318 |
| 附录一 气动薄膜调节阀型号编制说明..... | 320 |
| 附录二 气动薄膜直通单、双座调节阀基本参数..... | 321 |
| 附录三 气体压缩因数图..... | 322 |
| 附录四 气动薄膜调节阀流量系数 C 值计算图表(一) | 323 |
| 第七章 调校原则与习题思考题 | 328 |
| 第一节 调校原则 | 328 |
| 一、气动调节器开环调校原则..... | 328 |
| 二、气动调节器闭环调校原则..... | 329 |
| 三、电动调节器开环调校原则..... | 330 |
| 四、电动全刻度指示调节器调校原则..... | 331 |
| 五、可编程序调节器的基本操作原则 | 333 |
| 六、可编程序调节器最佳 PID 整定参数调校原则 | 333 |
| 七、气动三针记录仪调校原则..... | 335 |
| 八、磁平衡式电动指示记录仪调校原则..... | 336 |
| 九、电动乘除器调校原则..... | 337 |
| 十、气动乘除器调校原则..... | 338 |
| 十一、气动调节阀调校原则..... | 339 |
| 第二节 习题思考题 | 341 |
| 一、第一章 | 341 |
| 二、第二章 | 342 |
| 三、第三章 | 345 |
| 四、第四章 | 347 |
| 五、第五章 | 348 |
| 六、第六章 | 349 |

第一章 总 论

第一节 过程控制系统与过程控制装置

生产过程总是在一定的工艺参数条件下进行。为此必须对生产过程进行控制或调节。

图1-1是一个贮罐液位调节的例子。

图中： q_i 表示物料的流入量； q_o 表示物料的流出量， h 表示贮罐的液位； h_s 表示生产需要的贮罐液位高度；1表示物料的进口阀；2表示物料的出口阀。现在要对贮罐的流入量或流出量进行控制。在稳态下，当单位时间的流入量和流出量相等时，贮罐内的液位高度恰好维持在生产所需要的液位高度上。

如果工况的变化使流出量增加了，则 q_i 小于 q_o ，贮罐内液位的高度就要下降。为了使贮罐的液位保持在给定的高度上，操作人员必须经常观察贮罐液位的变化，并把液位变化的情况和生产所要求的液位高度进行比较，根据比较的结果作出判断，开大进口阀，使贮罐液位高度重新保持在 h_s 。由于这一操作完全靠人工完成，故称之为人工调节。

所谓生产过程自动化就是采用自动化技术工具，部分地或全部地取代人，来对生产过程进行控制。

在上例中，只要给贮罐装上变送器、调节器，并把进口阀1换成执行器，就可以实现液位自动控制。它的组成原理如图1-2所示。变送器把贮罐内液位的变化情况（称之为被调参数）送到调节器，调节器则根据变送器送来的被调参数 h 与给定的液位高度 h_s （称之为给定信号）进行比较，并根据比较所得的偏差信号发出相应的输出信号，以改变贮罐的流入量，使液位保持在给定值 h_s 。这就是自动控制。

从上述液位控制系统的分析中可以看出：自动控制系统包括以下几个部分：被调对象（如贮罐）；变送器；调节器和执行器。为了能清楚地表示自动控制系统中各个组成部分之间的相互影响和信号联系，一般都用方框图来表示控制系统的组成和作用。液位控制系统方框图如图1-3所示，图中各方框的意义如下：

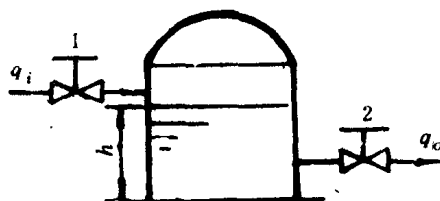


图1-1 贮罐液位手动调节示意图

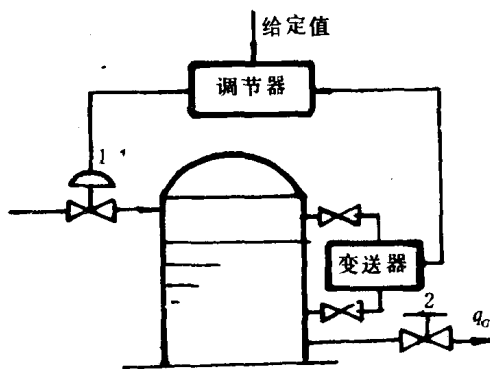


图1-2 贮罐液位自动控制示意图

1—执行器 2—出料阀

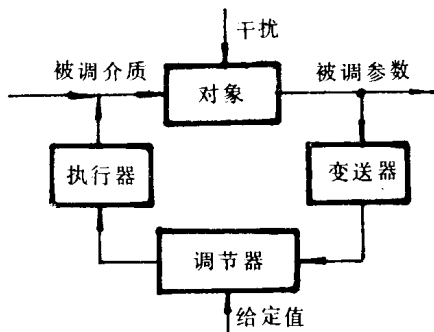


图 1-3 控制系统方框图

被调对象——需要调节其工艺参数的生产设备或机器。

变送器——用来感受工艺参数并将其转换成一种特定信号的装置。

调节器——把变送器送来的测量信号与工艺参数需求保持的给定信号进行比较，得到偏差信号，并按照预先设计好的某种调节规律进行运算之后，输出相应的控制信号去指挥执行器。

执行器——包括执行机构和调节阀。执行机构将调节器的输出信号转换成直线位移

或角位移；调节阀则控制阀门的开度以改变物料或能量的大小。

一个自动控制系统，除了上述几部分之外，根据需要还设有辅助装置。例如给定装置、转换装置、显示装置等。这些形形色色的自动化技术工具就是我们将要介绍的过程控制装置。

第二节 过程控制装置的分类与发展

一、分类

(一) 按能源形式分类

可以为气动、电动、液动和混合式等几类，通常气动调节仪表和电动调节仪表使用较为普遍。

气动调节仪表采用 $1.4 \times 10^2 \text{kPa}$ 的气压信号作为能源，本世纪40年代起就已广泛地用于工业生产。由于它具有结构简单、工作可靠、安全防爆、易于维修等特点，至今在国内外仍被大量采用，而且具有广阔的发展前景。

电动调节仪表采用220V交流供电，或24V直流供电。虽然它的发展只有三十多年的历史，但是它和气动、液动调节仪表相比较具有许多优点，如能源选取方便，信号无滞后，远距离传输，易于集中显示和操作，便于和计算机联用等，使之获得日新月异的发展。尤其是防爆技术问题的解决，元器件的更新换代，使电动调节仪表的应用更加广泛。

(二) 按信号形式分类

可分为模拟式控制装置和数字式控制装置两大类。

模拟式控制装置的传输信号通常为连续变化的模拟量，如气压信号、电流信号、电压信号等。这种装置大都线路简单，工作可靠，抗高频干扰能力强。由于生产、使用的历史较长，无论是制造者还是使用者都积累了丰富的经验。尤其在当前变送器和执行器大都是模拟式的情况下，选用模拟式控制装置组成控制系统，一般较简单易行。

数字式控制装置的传输信号通常为断续变化的数字量，如脉冲信号。这种装置编程灵活，不仅能实现PID调节规律，还能实现其它特殊的调节规律，如选择、非线性、采样等，而且还具有PID参数设定范围广，积分时间和微分时间相互不干扰等优点。

(三) 按结构形式分类

可分为基地式调节仪表、单元组合式调节仪表、组装式综合控制装置和集中分散型综合

控制系统。

基地式调节仪表的结构特点是以指示或记录仪表为中心,附加某些环节来完成调节任务。通常结构简单,价格低廉,比较适用于单参数的就地控制。

单元组合式调节仪表的结构特点是根据检测系统和控制系统中各组成环节的不同功能和使用要求,将整套仪表划分成若干单元,各单元之间采用统一标准信号联系,经过不同的搭配,就可构成各种复杂程度不同的自动检测控制系统。

单元组合式调节仪表使用灵活,通用性强,适用于中、小型企业的自动控制。

组装式综合控制装置在结构上可分成二大部分:一是控制柜;二是操作台。控制柜内设有若干组件箱,每个组件箱内又插入若干组件板。组件板的高密度安装,充分利用了空间,由于组件板接插方便,并且采用矩阵端子接线方式,改装换接非常容易。操作台利用数字逻辑技术、顺序控制、CRT显示技术来集中进行显示操作。不但缩小了体积,而且改善了人机联系,便于操作和监督。

在系统安装方面,组装式综合控制装置以成套装置的形式提供给用户,从结构设计、组件排列、系统布线等方面的考虑,简化了系统工程,缩短了安装调试时间,减少了工程费用,方便了使用单位。

集中分散型综合控制系统,在结构上以微处理机为核心,与数据通信系统、CRT显示装置、过程输入输出接口相结合,从而构成的一种新型过程控制装置。它把整个连续的生产过程分散地采用微处理机进行控制,而将全部信息通过数据通讯总线与上位计算机进行通信,上位计算机对各分散系统进行监控。操作人员通过监视操作站进行集中管理,便可统观全局进行综合控制。整个装置的特点是系统控制功能分散,监视操作集中,控制逻辑可扩,人机联系完善,安装布线简单,运行安全可靠。

二、发展

过程控制装置经历了自力式、基地式、单元组合式、组装式和集散式几个发展阶段。就单元组合式而言,又可分为I型、II型、III型。生产的发展对过程控制装置不断提出新的要求,促使它向更完善的方向发展。随着各工业部门大型、高效率、临界参数的新型生产设备相继涌现,对过程控制装置提出了更高的如下要求:

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、优化、非线性等等,而且还要有程序控制和各种联锁保护。

系统要易于功能扩展 由于生产工艺的改进,要求自动控制系统能够由简单到复杂逐步改进,以便适应生产工艺的需求。这些都要求过程控制装置能够灵活地构成各种各样的控制系统。

要求解决为模拟式控制装置和计算机联机问题 计算机用于工业控制已有二十多年的历史,无论在系统上,还是在软件上和硬件上都积累了很多经验。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。尽管存在这样那样的一些实际问题,但是随着技术的进步总会为它找出一条简便、合理、可靠的方法来解决。特别是根据我国国情全面考虑模拟式控制装置与计算机的联机问题更是十分重要。

要求对过程控制装置和系统的可靠性采取严密有效的措施 由于现代化的大型工业设备很多是在临界状态下工作,因此对自动控制的可靠性提出了极苛刻的要求。不仅要求提高过程控制装置本身的质量和可靠性,而且在控制系统方面也应采取严密的监控保护措施。一旦

系统发生故障或问题，就能迅速判断症结所在，并及时采取措施，防止事故进一步扩大。同时应指出故障的发生地点，以便迅速排除。

要求操作简便 随着大型、高效率、临界工艺设备的出现，自动控制系统愈来愈庞大而复杂，所用的过程控制装置也愈来愈多，因此增加了操作人员监视和操作的负担，万一出现事故，也难于应付。为了改善操作条件，需要将各个领域内的最新技术成就加以综合应用，如利用数据通讯技术，CRT显示技术，程序控制技术，数字逻辑技术，以及使主设备的启停实现自动化等等。

要求解决系统安装工程问题 仪表制造厂不仅需要生产单件仪表，还应针对用户的要求，考虑系统安装工程问题，使整套自动控制系统在仪表制造厂预先安装好。这样既可减轻设计单位和安装单位的工作量，又可加速基建周期减少安装费用。

为了适应上述这些要求，近年来涌现出许多新型的过程控制装置，比如组装式综合控制装置和集中分散型综合控制系统。尤其是随着微处理机价格的不断下降，质量的不断提高，使集中分散型综合控制系统得到空前的发展。其分散度已下降到一台微处理机只控制一个调节回路的单回路数字调节器。计算机控制由多回路发展到单回路是一个重大飞跃，是当代技术进步的必然产物，也是过程控制装置发展的新方向。

第三节 信号制

所谓信号制是指在成套仪表系列中，各个仪表的输入、输出采用何种统一的联络信号问题。目前，过程控制装置使用的联络信号一般可分为气动信号和电动信号。这些信号通常包括模拟信号、数字信号、频率信号和脉宽信号。气动模拟信号在国际上采用 $0.2 \sim 1.0 \times 10^2 \text{ kpa}$ 的统一信号，如国产的DDZ-II型气动单元组合仪表就采用这种信号制。电动模拟信号在国际上统一规定为直流电流信号为 $4 \sim 20 \text{ mA}$ ，直流电压信号为 $1 \sim 5 \text{ V}$ 。国产的DDZ-III型电动单元组合仪表则采用这种信号制。

本书介绍的过程控制装置所用的联络信号，主要是模拟信号和数字信号。模拟信号中尤其以电动模拟信号的应用较为广泛，因此围绕电动模拟信号介绍一些有关情况。

电动模拟信号有直流电流、直流电压、交流电流和交流电压四种。从信号范围来看，下限可以从零开始，也可以不从零开始（即有一个活零点），上限可低也可高。下面就几种电动模拟信号进行分析和比较。

一、直流信号和交流信号的比较

在传输导线中，直流信号不象交流信号那样易受交流感应的影晌，这为解决过程控制装置的抗干扰问题创造了条件。

直流信号也不受传输线路的电感、电容以及负荷的影响，不存在相移问题，可以使接线简化易行。

由于直流信号便于进行模数转换，还由于巡回检测、数据处理装置、顺序控制装置以及控制计算机等都是以前直流信号作为输入信号，因此采用直流信号便于和这些装置配合使用。

有些过程控制装置需要设计基准电压，而采用直流信号获得基准电压相对而言是方便的。

正因为直流信号和交流信号相比较有很多优点，因此在过程控制装置中得到了广泛的应用。

二、直流电流信号

应用直流电流作为传输联络信号时，若一台发送仪表的输出电流要同时输送给几台接收仪表时，所有这些仪表必须串联连接，如图 1-4 所示。图中： R_o 为发送仪表的输出阻抗； R_{cm} 和 R_i 为分别连接导线的电阻及接收仪表的输入阻抗，它们共同作为发送仪表的负载电阻。在实际使用中，导线长度及接收仪表的台数是随使用条件在一定范围内变化的，因此负载电阻也是个变量。由于发送仪表的输出阻抗 R_o 不可能无限大，当负载电阻变化时，输出电流也将发生变化，从而引起传输误差。因此，要求发送仪表具有“恒流特性”（负载电阻在一定范围内变化时，输出电流基本不变的特性称为恒流特性）。直流电流信号的传输误差

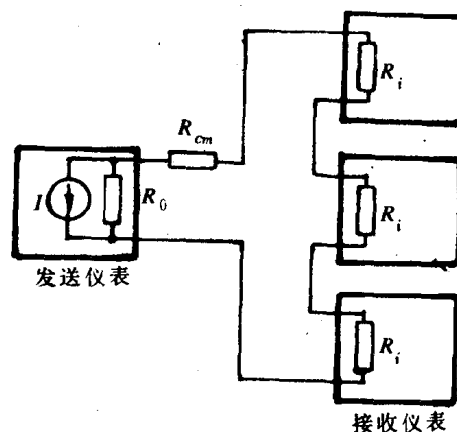


图 1-4 直流电流信号时仪表之间的连接

$$\varepsilon = \frac{I - \frac{R_o}{R_o + (R_{cm} + nR_i)} I}{I} 100\%$$

$$\varepsilon = \frac{R_{cm} + nR_i}{R_o + R_{cm} + nR_i} 100\% \quad (1-1)$$

式中 n ——接收仪表的台数。

由式 (1-1) 可见，为了保证传输误差在允许范围内，要求 $R_o \gg R_{cm} + nR_i$ ，因此

$$\varepsilon = \frac{R_{cm} + nR_i}{R_o} 100\% \quad (1-2)$$

R_i 和 R_o 可根据允许误差和经济技术指标来确定。为了保证传输信号在 3~5 km 内不受影响，考虑到一台发送仪表的输出电流应同时送给几台接收仪表，要求它的输出阻抗 R_o 要足够大，而接收仪表的输入阻抗 R_i 应尽量小。

上述分析表明：传输信号采用直流电流时，发送仪表的输出阻抗很高，相当于一台恒流源，传输导线长度在一定范围内变化时仍可保证精度。因此直流电流信号适于远距离传输。

直流电流信号还有以下特点：

1. 直流电流经电阻很容易转变成直流电压，这就为要求直流电压输入的过程控制装置提供了方便。

2. 直流电流与磁场作用容易产生机械力，这为设计某些过程控制装置创造了条件。

3. 由于串联工作，当一台过程控制装置损坏或补入时，将影响其它装置的正常工作。

4. 由于负载串联，造成变送器、调节器等仪表的输出端处于较高的工作电压状态，所以仪表输出级的功率管易被击穿损坏，降低了可靠性。

三、直流电压信号

应用直流电压信号作为传输联络信号时，当一台发送仪表的输出电压要同时输送给几台

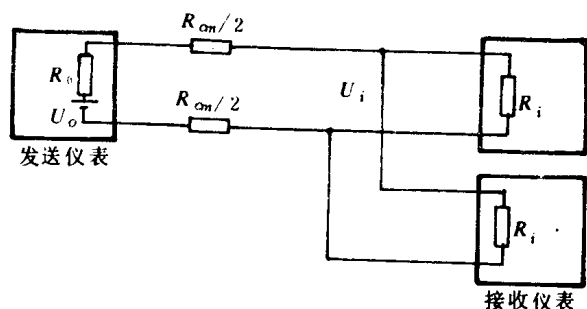


图 1-5 直流电压信号时仪表之间的连接

为了减小此误差，一般都要求 $\frac{R_i}{n} \gg R_o + R_{cm}$ ，此时有

$$\varepsilon \approx n \frac{R_o + R_{cm}}{R_i} 100\% \quad (1-4)$$

由式 (1-4) 可见：接收仪表的输入阻抗 R_i 越大，误差越小。并联仪表的数量越多，则总的输入阻抗就越小，误差越大。因此必须对并联仪表的台数进行限制。为了减小传输误差，要求发送仪表内阻 R_o 及导线电阻 R_{cm} 足够小。当远距离传输电压信号时，连接导线电阻 R_{cm} 势必增大，从而对接收仪表的输入阻抗 R_i 提出过高的要求。输入阻抗过高易于引入干扰，所以直流电压信号不适于远距离传输。

直流电压信号还有以下优缺点：

1. 由于并联工作，取消或补入某个装置不会影响其它装置的正常工作。
2. 对过程控制装置输出级的耐压要求可以降低，从而提高了装置的可靠性。

四、直流电流信号上下限大小的比较

直流电流信号下限从零开始，便于进行模拟量的加、减、乘、除、开方等数学运算，亦可使用通用刻度的指示、记录装置。信号下限不从零开始，表明电气零点和机械零点分开，便于检验信号传输线有否断线及装置是否断电；便于使装置中的半导体器件工作在线性段，便于制作两线制仪表（电源线和信号线公用两根导线的仪表）。

直流电流信号上限值高一点，可以产生较大的电磁力，有利于某些过程控制装置的设计制造；但上限值过大，在传输导线中的功率损耗增大，导致装置的电源变压器加大，造成装置的体积增加。信号上限值高一些，对于使用集成运算放大器的某些过程控制装置，可以降低对集成运算放大器失调参数的要求，有利于装置的生产和成本的降低；但上限值过大，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。

第四节 安全防爆的基本知识

一、防爆的基本概念

自然物质、助燃物质和激发能量三者称为爆炸三要素。而自然物质和助燃物质和在一起，则称其为爆炸性混合物。

接收仪表时，所有这些仪表必须并联连接，如图 1-5 所示。在并联连接时，由于接收仪表的输入阻抗 R_i 不可能无限大，信号电压 U_o 将在发送仪表内阻 R_o 及连接导线电阻 R_{cm} 上损失一部分电压 ΔU ，从而造成的直流电压信号传输误差

$$\varepsilon = \frac{\Delta U}{U_o} 100\% = \frac{U_o - U_i}{U_o} 100\%$$

$$\varepsilon = \frac{R_o + R_{cm}}{R_o + R_{cm} + \frac{R_i}{n}} 100\% \quad (1-3)$$

在石油、化工等工业部门中，生产过程现场往往含有甲烷、乙烷、氢、氨等易燃易爆的气体。这些可燃性气体是自燃物质，空气中的氧是助燃物质，它们按一定比例混合后就形成爆炸性混合物。衡量爆炸性混合物易燃易爆危险程度的因素主要有四点：最易引燃浓度；自燃温度；最小点火能量；最小引燃电流或最易传爆浓度下的最小传爆间隙。

含有爆炸性混合物的生产过程现场一般称为危险场所，按其危险程度可分为三类：

第一类危险场所，即含有可燃性气体或蒸汽的爆炸性混合物的场所，称为Q类危险场所。

第二类危险场所，即含有可燃性粉尘或纤维混合物的场所，称为G类危险场所。

第三类危险场所，即火灾危险场所，称为H类危险场所。

危险程度最高的是第一类危险场所，防爆的过程控制装置都是针对它而设计的。第一类危险场所根据危险程度的不同，一般可分为如下三级：

Q-1级是在正常情况下能形成爆炸性混合物的场所；

Q-2级是在正常情况下不能形成爆炸性混合物，仅在不正常情况下才能形成爆炸性混合物的场所；

Q-3级是在不正常情况下，只能在局部地区形成爆炸性混合物的场所。

根据我国电力设计技术规范的规定，防爆电气设备分为以下六大类：

安全型 符号用A表示；

隔离型 符号用B表示；

充油型 符号用C表示；

通风充气型 符号用F表示；

安全火花型（本质安全型） 符号用H表示；

特殊型 符号用T表示。

过程控制装置使用的防爆结构主要是隔离型和安全火花型。

隔离型防爆结构是把过程控制装置的电路和接线端子全部放在隔爆表壳内，表壳强度要足够大，表壳接合面间隙要足够深，而最大间隙宽度要足够窄。因此，即使装置因事故产生火花，造成表壳内部爆炸时，也不会引起装置外部的爆炸性混合物爆炸。

隔离型防爆结构的具体措施包括：采用耐压 $8 \sim 10 \times 10^2 \text{kPa}$ 以上的表壳；表壳外部的温升不能超过爆炸性混合物自然温度所规定的数值；表壳接合面的缝隙宽度及缝隙深度，要根据它的容积和爆炸性混合物的级别采取规定的数值等。

隔离型防爆结构的装置可用在Q-2级和Q-3级的场所。在过程控制装置安装及维护正常情况下，它是安全的，倘若装置揭开表壳时，它就失去防爆性能。因此，在通电运行情况下不能打开表壳进行检修和调整。对于氢、乙炔和二硫化碳等，不宜采用隔离型防爆结构。其原因是这些气体所要求的隔爆表壳在机械加工上有困难，即便解决了机械加工方面的问题，装置在长期使用后，由于磨损，也很难长期保持要求的间隙，因而会逐渐丧失防爆能力。这些都是隔离型防爆装置的弱点。

安全火花型防爆结构是指在正常状态或事故状态下所产生的火花及达到的温度均不能引起爆炸性混合物爆炸的一种防爆类型。正常状态是指电气设备在设计规定条件下的工作状态，在正常的断开和闭合电路时也可能产生火花。事故状态是指发生短路、断路、接地及电源故障等情况。

安全火花型防爆结构的具体措施包括：采用低值工作电压和工作电流，如DDZ III型电

动单元组合仪表的调节器，正常时工作电压 $\leq 24\text{V DC}$ ，工作电流 $\leq 20\text{mA DC}$ ；故障时工作电压 $> 30\text{V DC}$ ，工作电流 $> 20\text{mA DC}$ 。

对于安装在危险场所的过程控制装置，选择大小适当的电阻、电容和电感参数，以保证在正常或事故状态下产生的火花不足以点燃爆炸性混合物。

过程控制装置的连接导线不能形成过大的分布电感和分布电容。

危险场所和安全场所之间的电路采用安全保持器隔开。

安全火花型防爆结构的装置（从原理上讲）可适应于一切危险场所，所有的爆炸性混合物，其安全性能也不随时间而变化，维护检修方便，可在运行状态下进行调整和维修。

二、安全火花型防爆装置及防爆系统

在安全火花型防爆装置中，有两种性质的电路：一种是安全火花电路，这种电路严格依照国家防爆规程进行设计；另一种是非安全火花电路，即一般电路。当两种电路处于同一块印刷电路板或装在同一壳体时，必须采取严格的有效的措施防止二者接触。

由过程控制装置组成控制系统时可能有两种情况：一种是如图 1-6 所示的非安全火花型防爆系统，另一种是如图 1-7 所示的安全火花型防爆系统。在图 1-6 中，虽有安全火花型防爆控制装置，但没有安全保持器对现场（危险场所）和控制室（安全场所）实行有效隔离，所以构成的系统不是安全火花型防爆系统。在图 1-7 中使用了安全保持器，使安全保持器至现场一侧为安全火花电路，而从安全保持器至安全场所一侧为非安全火花电路，这就构成了安全火花型防爆系统。电路所以产生这种质的变化，完全是由于有了安全保持器。所以安全保持器是构成安全火花防爆系统的关键。当然这并不是说，有了安全保持器，系统就必然是安全火花型防爆系统，如果图 1-7 中的现场的控制装置不是安全火花型防爆结构，那么当电路出现故障时，也可能产生非安全火花引起爆炸事故。

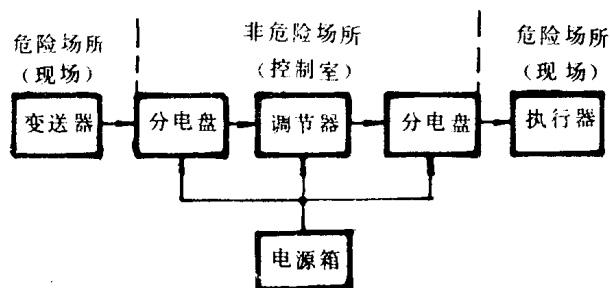


图 1-6 非安全火花型防爆系统

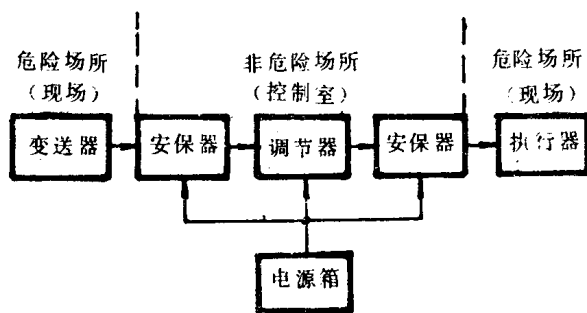


图 1-7 安全火花型防爆系统

所以安全火花型防爆系统的充分必要条件，一是自身不产生非安全火花，二是安全场所的非安全火花能量不得窜入危险场所。

第五节 过程控制装置的调节规律

过程控制装置的调节规律是指调节器的输出信号和输入信号之间随着时间的变化规律。需要强调的是，调节器的输入信号是偏差信号 ΔX ，而偏差信号等于测量信号（被调参数） X_i 和给定信号 X_s 之差，即

$$\Delta X = X_i - X_s$$

调节器的输出信号是指调节器接受偏差信号之后相应的输出信号的变化量 ΔY 。

对调节器而言，习惯上：

$\Delta X > 0$ ，称为正偏差；

$\Delta X < 0$ ，称为负偏差；

$\Delta X > 0$ ， $\Delta Y > 0$ ，称该调节器为正作用调节器；

$\Delta X > 0$ ， $\Delta Y < 0$ ，称该调节器为反作用调节器。

在讨论调节规律时，一般按正作用进行分析。

调节器的输入信号和输出信号可能是电信号，也可能是气信号，还可能是其它物理量。为了采用通式来表达它们的特性，输入信号和输出信号可用相对变化量来表示。调节器的输入信号为偏差信号与测量信号范围的比值，输出信号为输出变化量与输出信号范围的比值，即：

$$x = \frac{\Delta X}{X_{i \max} - X_{i \min}}$$

$$y = \frac{\Delta Y}{Y_{\max} - Y_{\min}}$$

式中 x ——用相对变化量表示的调节器的输入信号；

y ——用相对变化量表示的调节器的输出信号；

$X_{i \max} - X_{i \min}$ ——测量信号的范围；

$Y_{\max} - Y_{\min}$ ——输出信号的范围。

用相对变化量 x 和 y 来表示调节器的调节规律，通常有四种表示方式，即微分方程、传递函数，频率特性和时间特性。比如，用微分方程表示比例调节规律，其表达式为 $y = K_p x$ 。用传递函数表示比例积分调节规律，其表达式为 $W_{PI}(s) = K_p(1 + \frac{1}{T_I s})$ 。用频率特性表示比例微分调节规律，其表达式为

$$G(j\omega) = K_p(1 + j\omega T_D), A(\omega) = K_p \sqrt{1 + T_D^2 \omega^2}$$

$\phi(\omega) = \arctg T_D \omega$ 。而用时间特性表示比例积分微分调节规律，其输出信号 y 随时间变化的曲线如图1-8所示。

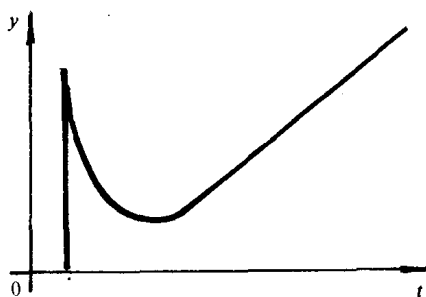


图1-8 阶跃响应特性曲线

一、比例调节规律

具有比例调节规律的调节器称为比例调节器，其输出信号 y 与偏差信号 x 成比例关系，