

北京市高等教育精品教材

过程控制装置

GUOCHENG KONGZHI ZHUANGZHI

第四版

◎ 张永德 编著



化学工业出版社

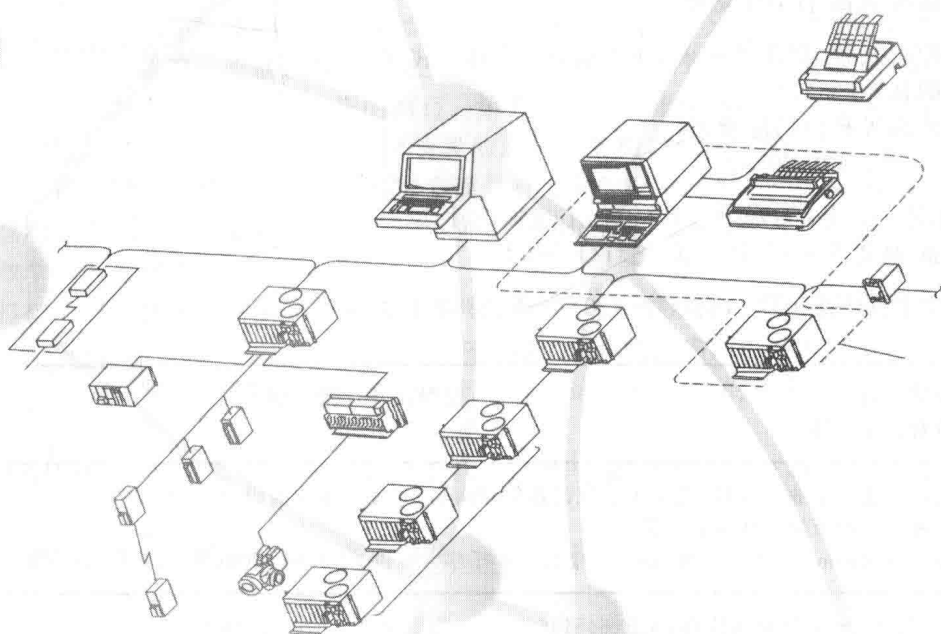
北京市高等教育精品教材

过程控制装置

GUOCHENG KONGZHI ZHUANGZHI

第四版

◎ 张永德 编著



化学工业出版社

· 北京 ·

本书是北京市高等教育精品教材《过程控制装置》的第四版。从过程控制装置的构成原理、结构特点、线路分析、工程应用等重点内容出发,精选素材,侧重介绍可编程逻辑控制器、数字式仪表、集散控制系统、现场总线、气动调节阀的相关技术及应用。基于强化基础、突出应用的理念,注重理论联系实际,注重工程性和系统性的平衡。每章的最后配备了习题和思考题,方便学生学习和复习。

本书可作为本科院校、高职高专院校自动化专业、测控技术专业及仪器专业的教学用书,亦可供从事过程控制系统设计和维护的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

过程控制装置/张永德编著.—4版.—北京:化学工业出版社,2017.8

北京市高等教育精品教材

ISBN 978-7-122-29552-1

I. ①过… II. ①张… III. ①化工过程-过程控制-控制设备-高等学校-教材 IV. ①TQ056.2

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第088301号

责任编辑:刘哲
责任校对:王静

装帧设计:张辉

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)
印装:三河市延风印装有限公司
787mm×1092mm 1/16 印张18 $\frac{3}{4}$ 字数494千字 2017年9月北京第4版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

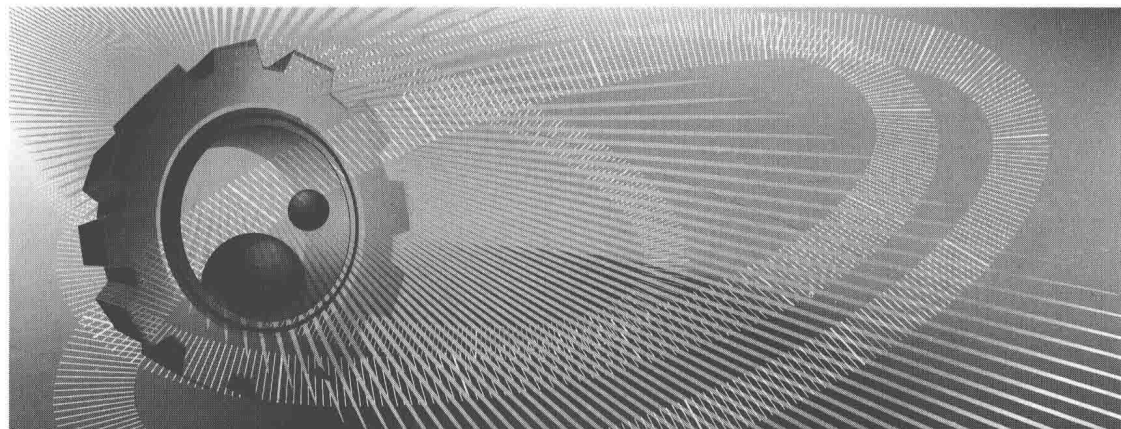
网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:49.00元

版权所有 违者必究





前 言

《过程控制装置》作为北京市高等教育精品教材，不断跟踪国内外过程控制装置制造和应用的最新动态，围绕基本理论和基本知识，不断充实、完善教材内容，为培养合格的学生、造就创新的人才添砖加瓦。

本书共分六章：第一章总论，第二章可编程逻辑控制器，第三章数字式仪表，第四章集散控制系统，第五章现场总线，第六章气动调节阀。

本书在第三版的基础上，对原书的第一章和第二章进行了整合梳理，归纳组合成新的第一章。第二章为新增内容可编程逻辑控制器，围绕重点产品进行了硬件和软件的描述。第三章对原有的内容进行裁剪、改造、瘦身，蜕变成新的章节。第四章删掉了一半原有内容，添加了浙大中控 ECS700 的素材，打造新的面目。第五章和第六章成熟内容，进行了保留。综上所述，第四版《过程控制装置》，从控制装置的原理、结构、应用、操作，各方面内容安排比例适中，在可读性、技术性、实用性诸方面具有更大的权重。本书是北京化工大学多年来教学理念和教学实践的积淀，具有一定的特色，特别适合作为本科院校和高职高专院校相关专业的教学用书，欢迎选用。

本书打破同类教材多年的编写习惯，强调气电合一、模和数合一、多种控制装置集合应用的特点，萃取精华，压缩学时，以便适应不断发展的新形势的需求。本书具有起点高、信息量大、实用性强的特点，可以作为控制系统设计、运行和维护的工程技术人员参考用书。

在本书第四版编写工作中北京化工大学赵立强博士提供了部分资料，在此表示衷心感谢。

鉴于作者的水平，书中不妥之处在所难免，恳请专家和读者批评斧正。

编者

2017 年 5 月



第一章 总论	1
第一节 过程控制装置的分类与发展	2
一、分类	2
二、发展	3
第二节 过程控制装置的信号制和传输方式	4
一、信号制	4
二、传输方式	4
第三节 安全防爆的相关知识	6
一、防爆的相关知识	6
二、安全火花型防爆装置及防爆系统	7
第四节 调节器的参数	8
一、比例带	8
二、积分时间和积分增益	9
三、微分时间和微分增益	11
四、相互干扰系数	12
第五节 ISB 安全保持器的技术及应用	13
一、用途	13
二、方框图	13
三、原理	13
习题与思考题	16
第二章 可编程逻辑控制器	19
第一节 S7-300 可编程逻辑控制器的技术及应用	19
一、硬件结构	19
二、软件系统	26
第二节 Modicon TSX Quantum 可编程逻辑控制器的技术及应用	42

一、硬件结构	42
二、编程软件	45
习题与思考题	52
第三章 数字式仪表	53
第一节 SLPC 调节器的技术与应用	53
一、用途	53
二、方框图	53
三、原理	53
第二节 SPRG 编程器的技术及应用	97
一、用途	97
二、方框图	97
三、原理	98
第三节 SLPC 调节器和 SPRG 编程器的编程实例	100
一、用户程序的设计	100
二、接线、送电、键入主程序和仿真程序	102
三、对输入信号 X_0 标定工程量	103
四、键入可变参数并定标	103
五、对测量值 PV、设定值 SV 的刻度定标	104
六、确定 CNT 方式	104
七、设定动作方式	104
八、设定 PID 整定参数	104
九、试运行	105
十、修改程序	105
十一、写 EPROM	105
十二、打印程序清单	105
十三、断电	106
第四节 YS170 调节器的技术及应用	106
一、用途	106
二、方框图	106
三、原理	107
习题与思考题	129
第四章 集散控制系统	134
第一节 CS3000 集散控制系统的技术及应用	134
一、构成与特点	134
二、现场控制站	136
三、人机界面站	164
四、系统生成	191
第二节 ECS700 集散控制系统的技术及应用	219
一、构成与特点	219
二、控制站	220
三、操作节点	224
习题与思考题	224

第五章 现场总线	227
第一节 过程现场总线 PROFBUS 的技术与应用	227
一、概述	227
二、PROFIBUS-DP 的协议结构	228
三、PROFIBUS-DP 的通信机制	230
四、PROFIBUS-DP 从站接口设计实例	231
第二节 装置总线 DeviceNet 的技术与应用	234
一、标准概述	234
二、对象模型	235
三、DeviceNet 报文和连接	238
四、DeviceNet 节点设计实例	239
习题与思考题	242
第六章 气动调节阀	243
第一节 气动调节阀的用途与构成	243
一、用途	243
二、构成	243
第二节 阀体部件的特性分析	248
一、阀体部件的流量方程及流量系数	248
二、阀体部件的可调比	250
三、阀体部件的流量特性	252
四、闪蒸、空化及其对策	256
五、压力恢复能力和压力恢复系数	259
第三节 执行机构的特性分析	261
一、不平衡力和不平衡力矩	261
二、执行机构的输出力	263
三、允许压差的计算	265
四、静态特性和动态特性	266
第四节 气动调节阀的选择与计算	267
一、气动调节阀选择	267
二、气动调节阀计算	269
第五节 气动阀门定位器的技术与应用	282
一、用途	282
二、原理	283
习题与思考题	284
附录	285
附录一 气动薄膜调节阀信号编制说明	285
附录二 气动薄膜直通、双座调节阀基本参数	286
附录三 气体压缩因素图	287
附录四 气动薄膜调节阀流量系数 C 值计算图表	288
参考文献	293

第一章 总 论

生产过程是在一定的条件下进行的，因此需要对相关的参数进行控制。图 1-1 是一个储罐液位手动控制系统。稳态时，单位时间的流入量和流出量相等，储罐的液位恰好维持在生产所要求的高度上。假如工况的变化使流出量增加了，导致储罐的液位下降，为了使储罐的液位保持在既定的目标上，操作人员必须根据液位的变化情况和生产所要求的液位进行比较，做出相应的判断，开大进料阀，使储罐的液位重新保持在要求的高度上。上述操作过程由人工完成，称之为人工调节。

所谓自动化就是采用过程控制装置，部分或全部地取代人，对生产过程进行自动控制。

在上例中，只要给储罐安装变送器、调节器，并把进料阀换成执行器，就可以实现液位的自动控制，如图 1-2 所示。变送器把检测的储罐液位转换成标准的测量信号（称之为被调参数）送给调节器，调节器把测量信号和给定信号（要求的液位高度）进行比较，其偏差信号经过运算后转换成输出信号，控制执行器去改变储罐的流入量，从而使储罐液位保持在要求的高度上，实现了自动控制。

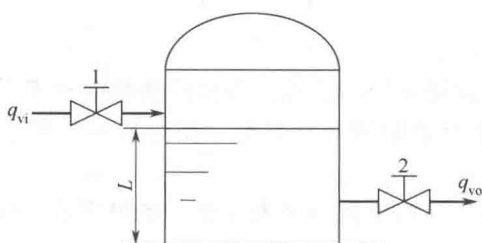


图 1-1 储罐液位手动控制系统示意图

q_{vi} —物料的流入量； q_{vo} —物料的流出量；

L —储罐的液位；1—进料阀；2—出料阀

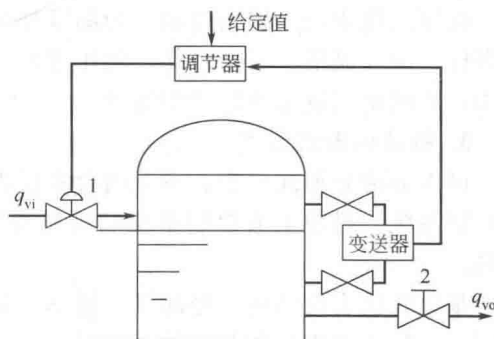


图 1-2 储罐液位自动控制系统示意图

1—执行器；2—出料阀

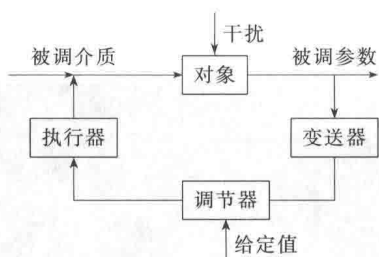


图 1-3 自动控制系统的方框图

从上述液位控制系统的分析中可以看出，一个自动控制系统一般是由对象、变送器、调节器和执行器构成的，方框图如图 1-3 所示。其中对象是需要调节其工艺参数的生产设备；变送器是检测工艺参数并把它转换成标准统一信号的检测装置；调节器是把变送器送来的测量信号和给定信号进行比较的偏差信号，按照预先设定好的调节规律进行运算之后，转换成标准统一信号的控制装置；执行器是把调节器的输出信号转换成直线位移或角位移，控制阀门开度的执行装置。

当然一个自动控制系统，除了这些基本的仪表装置之外，根据需要还可设有显示、转换、计算、辅助、给定装置等。这些形形色色的仪表就是过程控制装置。

第一节 过程控制装置的发展与分类

一、分类

1. 按能源形式分类

可以分为气动仪表、电动仪表、液动仪表和混合式仪表。目前电动仪表使用最为广泛。

气动仪表采用 $1.4 \times 10^2 \text{ kPa}$ 的气压信号作为能源，20 世纪 40 年代起就用于工业生产，由于结构简单、工作可靠、本质防爆、易于维修等特点，时至今日仍有使用。

电动仪表采用交流电源或直流电源作为能源，虽然只有 50 多年的历史，但是信号无滞后，易于远距离传输，易于集中显示和操作，便于和计算机连用等，使之获得日新月异的发展。尤其是防爆技术的解决、元器件的更新换代，使电动仪表的应用更加广泛。

2. 按信号形式分类

可以分为模拟式仪表和数字式仪表。目前模拟式仪表和数字式仪表均有使用，无疑数字式仪表的使用越来越广泛。

模拟式仪表的传输信号通常为连续变化的模拟量，如气压信号、电压信号、电流信号等，这种仪表大都线路简单、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。

数字式仪表的传输信号通常为断续变化的数字量，如脉冲信号、频率信号，这种仪表功能多样、编程灵活、安全可靠、使用方便，除了具有常规的算法之外，还能实施许多复杂的算法，因此受到越来越广泛的欢迎。

3. 按结构形式分类

可以分为基地式仪表、单元组合式仪表、组装式综合控制装置、集散控制系统和现场总线控制系统。目前集散控制系统和现场总线控制系统的使用非常普遍，是今后发展的主流趋势。

基地式仪表的结构是把测量、指示、记录、调节等均放在一个表壳中，结构简单，价格低廉，比较适用于单参数的就地控制。

单元组合式仪表的结构是根据检测和控制系统中各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的标准信号联系，经过不同的搭配，就可以构成各种复杂程度不同的自动检测控制系统。单元组合式仪表通用性强，使用灵活，适用于多种

工业参数的检测和控制。

组装式综合控制装置的结构分成两大部分：一是控制柜，二是操作台。控制柜内有若干组件箱，每个组件箱内又可以插入若干组件板，组件板采用高密度安装，插接方便，由于采用矩阵端子接线方式，所以改装非常容易。操作台利用数字逻辑技术、顺序控制技术、CRT 显示技术进行集中显示和操作，不但缩小了体积，而且改善了人机联系，更加易于操作和监视。组装式综合控制装置以成套装置的形式提供给用户，简化了工程，缩短了安装时间，方便了用户，在化工、电站等部门的自动控制系统中使用较多。

集散控制系统的结构大体分成三部分：过程控制装置、人机接口装置、通信网络。它对生产过程采用微处理机进行分散控制，而全部信息经过通信网络送到人机接口装置上，人机接口装置对各个分散系统进行监控，操作人员通过人机接口装置进行集中监视、操作和管理，便可综观全局，进行整合运作。整个装置的特点是功能分散、负荷分散、危险分散，操作集中、显示集中、管理集中，呈现出分散和集中的理念。

现场总线控制系统的结构大体分为两部分：现场总线和现场总线装置。现场总线是连接现场总线装置和自动化系统的数字式、双向传输多分支结构的通信网络，现场总线装置是包括变送器、执行器、服务器和网桥、辅助装置、监控装置在内的智能型节点装置。现场总线控制系统的通信网络是开放性互连网络，信号的传输全部实现了数字化，系统的结构达到了彻底的分散化。现场总线装置具有互操作性，不同厂家的产品可以互连、互换，也可以统一组态，在技术和标准上实现了全部开放的原则。

二、发展

过程控制装置经历了自力式、基地式、单元式、集散式和总线式几个发展阶段。生产的发展对过程控制装置不断提出新的需求，促使它向更完善的方向转化。随着工业部门大型、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要求。

① 控制功能多样化。按照生产设备运行的要求，不但要有各种反馈控制功能和新的控制策略，还要有顺序控制、程序控制和联锁保护。

② 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从简单到复杂逐步改进，以便适应生产工艺的需求，这就要求过程控制装置能够灵活地构成小、中、大规模不同的控制系统，使之具有良好的扩展性。

③ 高质量、高可靠性。由于现代化的大型工业设备很多是在临界状态下工作，因此对自动控制系统的可靠性提出了极苛刻的要求，不仅要求过程控制装置本身高质量、高可靠性，而且要求控制系统也需要严密的安保措施，一旦系统发生问题，能够迅速判断故障所在，及时采取有效措施，防止事故进一步扩大。

④ 操作简单易行。随着大型、高效率、临界工艺设备的出现，自动控制系统越来越庞大复杂，所用的过程控制装置也越来越多，增加了操作人员监视和操作的负担，万一出现事故也难予应付。为了改善操作条件，需要将各个领域的最新技术加以综合利用。

⑤ 解决系统安装工程问题。制造厂不但要生产单件仪表，而且要考虑系统安装工程问题，使整套自动控制系统在制造厂预先集成，既可以减轻设计和安装单位的工作量，又可以加速基建周期，节约安装费用。

为了适应上述这些要求，新型的过程控制装置不断涌现，质量不断完善，性价比不断提高，过程控制装置的变革，在深度和广度方面都将超过以往的历史，开创一个新的纪元。

第二节 过程控制装置的信号制和传输方式

自动控制系统中使用的各类过程控制装置,有的安装在现场设备或管道上,比如变送器和执行器;有的安装在控制室,比如调节器、记录仪和运算器等。为了把这些过程控制装置连接起来,构成功能各异的控制系统,在过程控制装置之间应该有一个统一的标准联络信号和适当的传输方式。

一、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进行传输。目前过程控制装置使用的联络信号一般包括模拟信号、数字信号、频率信号和脉宽信号。就模拟信号而言,气动模拟信号大都采用 $(0.2\sim 1.0)\times 10^2\text{ kPa}$ 气压信号作为联络信号,电动模拟信号大都采用 $4\sim 20\text{ mA}$ 的直流电流信号, $1\sim 5\text{ V}$ 的直流电压信号作为联络信号。

从信号的取值范围来看,下限可以是零,也可以是某一值;上限可以较低,也可以较高。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,也可以使用通用刻度的指示、记录装置。信号下限从某一值开始,表明电气零点和机械零点分开,便于检验信号传输线有无断线及装置是否断电,同时为制作两线制变送器提供了条件。

信号上限高一点,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;但是上限值过大,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。信号上限高一点,对于使用集成运算放大器的过程控制装置,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;但是上限值过大,对集成运算放大器的输出幅度和共模电压范围的要求也相应地增加。

二、传输方式

1. 电流信号传输

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传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} 为连接导线的电阻, R_i 为接收仪表的输入阻抗。在实际使用中,导线长度及接收仪表的台数是随着使用条件在一定范围内变化的,因此负载电阻也是个变量。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”(负载电阻在一定的范围内变化时,输出电流基本不变的特性称为恒流特性)。

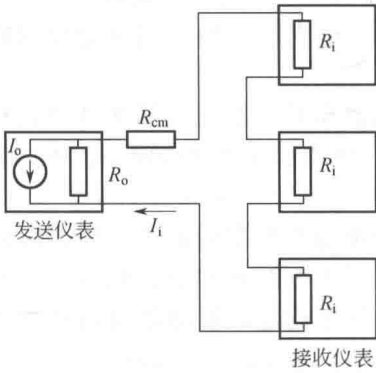


图 1-4 直流电流信号传输时
仪表之间的连接

直流电流的传输误差

$$\epsilon = (I_o - I_i) / I_o$$

$$\epsilon = \{ [I_o - R_o I_o / (R_o + R_{cm} + nR_i)] / I_o \} \times 100\%$$

$$\epsilon = [(R_{cm} + nR_i) / (R_o + R_{cm} + nR_i)] \times 100\% \quad (1-1)$$

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的范围内,要求 $R_o \gg R_{cm} + nR_i$, 因此

$$\epsilon \approx [(R_{cm} + nR_i) / R_o] \times 100\% \quad (1-2)$$

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 3~5km 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, 相当于一个恒流源, 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。

电流信号传输还有以下特点:

① 直流电流经过电阻很容易转换成直流电压, 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产生机械力容易, 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出现故障时, 将影响其他装置的正常工作。

2. 电压信号传输

应用直流电压作为传输联络信号时, 若一台发送仪表的输出电压要同时传送给几台接收仪表时, 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 将在发送仪表输出阻抗 R_o 及连接导线电阻 R_{cm} 上损失一部分电压 ΔU , 从而造成直流电压信号的传输误差:

$$\begin{aligned}\epsilon &= (\Delta U / U_o) \times 100\% \\ &= [(U_o - U_i) / U_o] \times 100\% \\ &= \{ [U_o - (U_o R_i / n) / (R_o + R_{cm} + R_i / n)] / U_o \} \times 100\% \\ &= [(R_o + R_{cm}) / (R_o + R_{cm} + R_i / n)] \times 100\%\end{aligned}\tag{1-3}$$

为了减少传输误差, 一般要求 $R_i / n \gg R_o + R_{cm}$, 因此

$$\epsilon \approx [n(R_o + R_{cm}) / R_i] \times 100\%\tag{1-4}$$

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, 误差就越大, 因此必须对并联仪表的数量进行限制。为了减少传输误差, 要求发送仪表的输出阻抗 R_o 和连接导线电阻 R_{cm} 应尽量小。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 提出很高的要求, 而输入阻抗过高易于引入干扰。因此直流电压信号不适于远距离传输。

电压信号传输还有以下特点:

① 由于并联工作, 取消或补入一台过程控制装置不会影响其他装置的正常工作。

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。

3. 变送器与控制室装置之间的信号传输

变送器是现场仪表, 其输出信号送到控制室, 而它的供电又来自控制室。变送器的信号传输和供电方式有以下两种。

(1) 四线制传输

供电电源和输出信号分别由两根导线传输, 如图 1-6 所示。图中的变送器为四线制变送器。以前使用的变送器大多数是这种形式。在这种传输方式中, 若变送器的一个输出端与电源的负端相连, 就成了三线制传输。

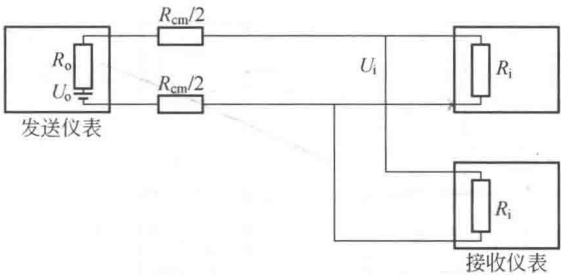


图 1-5 直流电压信号传输时仪表之间的连接

(2) 二线制传输

电源线和信号线公用两根导线传输，如图 1-7 所示。图中的变送器为二线制变送器。目前使用的变送器大多采用这种形式。使用二线制变送器，不仅可以节省大量电缆和安装费用，而且又便于安全防爆，因此得到较快的发展。

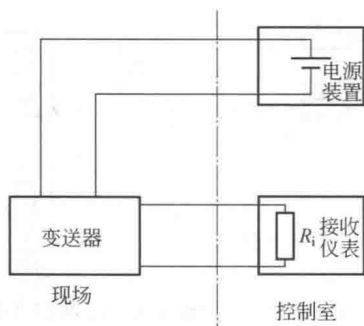


图 1-6 变送器的四线制传输

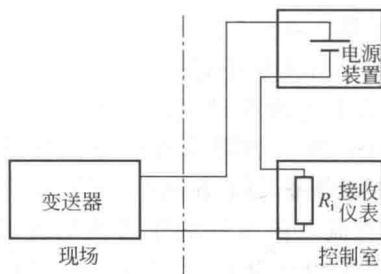


图 1-7 变送器的二线制传输

第三节 安全防爆的相关知识

一、防爆的相关知识

自燃物质、助燃物质和激发能量三者称为爆炸三要素。而自燃物质和助燃物质合在一起称为爆炸性混合物。

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、氧等易燃易爆的气体。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了爆炸性混合物。含有爆炸性混合物的生产过程现场一般称为危险场所，其危险程度可分为三类：

第一类危险场所，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，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，火灾危险场所，称为 H 类危险场所。

第一类危险场所又根据其危险程度的不同，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。

目前过程控制装置的防爆都是针对第一类危险场所而设计的。

根据我国电力设计技术规范的规定，装置的防爆结构可分为安全型（A）、隔离型（B）、充油型（C）、通风充气型（F）、安全火花型/本质安全型（H）、特殊型（T）6 大类。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，表壳的强度要足够大，表壳接合面间隙要足够深，而最大间隙宽度要足够窄。即使过程控制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。

具有隔离型防爆结构的过程控制装置可用在 Q-2 级和 Q-3 级的场合，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，它就失去防爆性能。因此在通电运行的情况下不能打开表壳进行检修和调整。对于含有氢、乙炔和二硫化碳的过程现场，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，即使解决了机械加工方面的问题，装置在长时间使用后，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。这些都是具有隔离型防爆结构的过程控制装置的弱点。

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，在电路的正常断开和闭合时也有可能产生火花。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装置（从原理上讲）可用于一切危险场所，适用于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

安全火花型防爆装置有两种性质的电路：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者在同一仪表壳体时，必须采取严格有效的措施防止两者接触。差压变送器、温度变送器、电气转换器、电气阀门定位器、安全保持器通常设计成安全火花型防爆装置。

用过程控制装置组成控制系统时有两种情况：一种是如图 1-8 所示的非安全火花型防爆系统，另一种是如图 1-9 所示的安全火花型防爆系统。

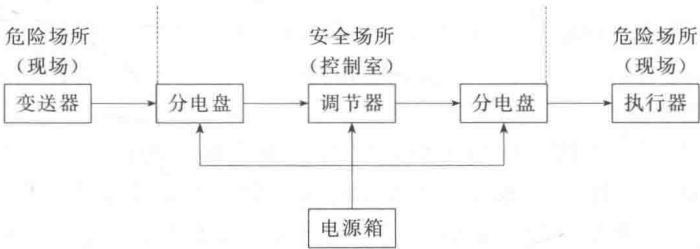


图 1-8 非安全火花型防爆系统

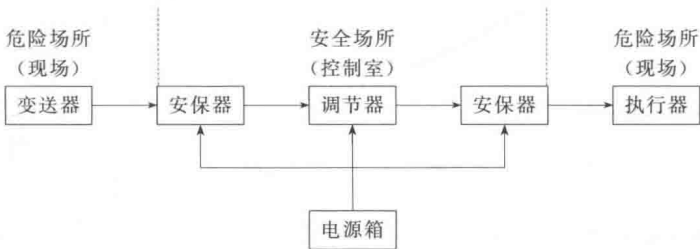


图 1-9 安全火花型防爆系统

在图 1-8 中，虽然在危险场所使用了安全火花型防爆装置，但是没有安全保持器（安保器）对危险场所和安全场所实行有效的隔离，而是采用分电盘代替。分电盘只能起信号隔离作用，不能限压、限流，所以构成的系统不是安全火花防爆系统。在图 1-9 中不仅在危险场所使用了安全火花型防爆装置，而且在危险场所和安全场所的仪表之间使用了安全保持器，使安全保持器至危险场所一侧为安全火花电路，而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。电路之所以产生这种质的变化，是设置了安全保持器，所以说安全保持器是构成安全火花型防爆系统的关键。

第四节 调节器的参数

调节器的输入信号是指测量信号 X_i 和给定信号 X_s 比较的偏差信号，用 ΔX 表示：

$$\Delta X = X_i - X_s$$
 调节器的输出信号是指调节器接收偏差信号 ΔX 之后产生的输出的变化量，用 ΔY 表示。习惯上， $\Delta X > 0$ ，称为正偏差， $\Delta X < 0$ ，称为负偏差。 $\Delta X \uparrow$ ， $\Delta Y \uparrow$ ，称为正作用调节器。 $\Delta X \uparrow$ ， $\Delta Y \downarrow$ ，称为反作用调节器。

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，还可能是其他物理量。为了采用通式来表达它们的特性，输入信号和输出信号均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

$$x = \Delta X / (X_{imax} - X_{imin})$$

$$y = \Delta Y / (Y_{max} - Y_{min})$$

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；
 $X_{imax} - X_{imin}$ ——测量信号的范围；
 $Y_{max} - Y_{min}$ ——输出信号的范围。

一、比例带

比例调节器输出信号和输入信号之间的关系表示为：

$$y = K_P x \tag{1-5}$$

式中 K_P ——比例增益。

比例调节器在阶跃输入信号作用下的输出响应曲线如图 1-10 所示。从图中可以看出比例调节器的特点是响应速度快，调节动作及时迅速。但是控制系统中只用比例调节器将会产生余差。余差的定义是调节过程终止时，测量信号和给定信号之差。

余差的出现来自比例调节器的自身特性，参见图 1-11。 $x_s = X_s / (X_{smax} - X_{smin})$ 是用相对变化量表示的给定信号， $x_i = X_i / (X_{imax} - X_{imin})$ 是用相对变化量表示的测量信号， f 是扰动信号。

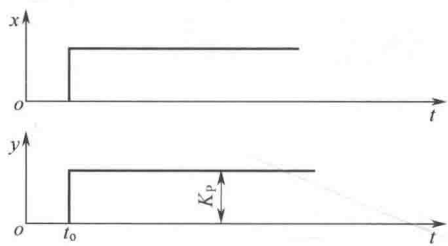


图 1-10 比例调节器的阶跃响应曲线

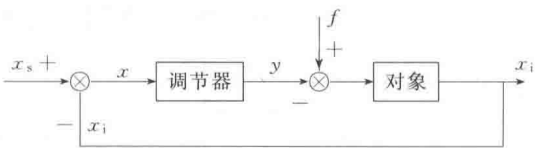


图 1-11 定值控制系统的方框图

假设系统初始处于平衡状态，且 $x_i = x_s$ ，由于扰动的作用，使测量信号发生变化。如 f 使 x_i 增加，则 $x_i > x_s$ ，偏差 x 送入调节器，经比例运算后输出 y ，它与扰动 f 作用相反，因此使偏差 x 减少。由于输出 y 与偏差 x 有一一对应的关系，要输出一定的 y 去克服扰动

f 的影响, 需要相应的偏差 x 存在, 所以比例调节器在调节过程终止时, 必然存在偏差, 即余差。扰动越大, 要求补偿它的影响的输出值也越大, 余差就越大。系统最大的余差出现在输出信号 $y=100\%$, 即

$$x_{\max}=y_{\max}/K_P=1/K_P=\epsilon\% \tag{1-6}$$

最大余差 $x_{\max}$ 用来衡量调节器的调节精度 $\epsilon\%$, 可见调节器的比例增益 K_P 越大, 调节精度越高, 系统的余差也越小。

虽然从减少余差的角度出发, 希望 K_P 越大越好, 但是由于系统存在多个惯性环节, K_P 过大会使系统产生自激振荡。 K_P 的大小要根据对象的特性来调整, 使得余差既小, 又不产生自激振荡, 获得较好的调节品质。

比例调节器的整定参数是比例带 P_B 。 P_B 和 K_P 的关系为

$$P_B=(1/K_P)\times 100\%=(x/y)\times 100\% \\ P_B=\{[\Delta X/(X_{\max}-X_{\min})]/[\Delta Y/(Y_{\max}-Y_{\min})]\}\times 100\% \tag{1-7}$$

比例带的定义是输入信号的相对变化量和输出信号的相对变化量之比。其实际含义为使调节器输出信号变化 100% 所需输入信号变化的百分数。如图 1-12 所示, 比例带 $P_B=50\%$ 表示输出信号变化 100% 时, 输入信号需要变化 50% 。习惯上比例带总是用百分数表示, 故在后面乘以 100% 。

对于输入信号范围 $(X_{\max}-X_{\min})$ 和输出信号范围 $(Y_{\max}-Y_{\min})$ 都相等的调节器, 比例带就等于输入信号的变化量与输出信号的变化量之比:

$$P_B=(1/K_P)\times 100\%=(\Delta X/\Delta Y)\times 100\% \tag{1-8}$$

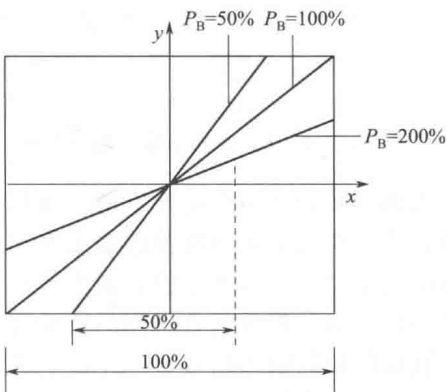


图 1-12 比例特性的输入输出关系

例如输入、输出信号均为 $4\sim 20\text{mA DC}$ 的比例调节器, 输入信号 $4\sim 20\text{mA}$ 变化时, 输出信号相应地 $4\sim 20\text{mA}$ 变化, 则 $P_B=[(20-4)/(20-4)]\times 100\%=100\%$ 。

二、积分时间和积分增益

积分调节器的输出信号和输入信号之间的关系为:

$$y=\frac{1}{T_I}\int x\,dt \tag{1-9}$$

式中 T_I ——积分时间;
 $1/T_I$ ——积分速度。

积分调节器在阶跃输入信号作用下的输出响应曲线如图 1-13 所示。从图中可以看出: 积分调节器的特点是只要偏差信号存在, 输出信号就会随时间不断地变化 (增加或减小), 直到偏差信号消除为止。积分调节器输出信号变化的快慢与偏差信号的大小和积分速度成正比, 而变化的方向则与偏差信号的正负有关。

上述分析表明, 积分调节器可以消除偏差, 但是调节动作缓慢, 在偏差信号刚出现时, 调节作用很弱, 不能及时克服扰动的影响, 导致测量信号的动态偏差增大, 调节过程拖长, 甚至难以稳定系统。因此很少单独使用积分调节器, 绝大多数情况是把积分调节器和比例调节器组合起来, 形成比例积分调节器。

比例积分调节器的输出信号和输入信号之间的关系为：

$$y = K_P \left(x + \frac{1}{T_I} \int x dt \right) \tag{1-10}$$

比例积分调节器在阶跃输入信号作用下的输出响应曲线如图 1-14 所示。从图中可以看出，输出信号由两部分组成：一部分是比例输出 $y_P = K_P x$ ；一部分是积分输出 $y_I = K_P x t / T_I$ 。当比例带一定时，积分时间 T_I 就表示积分作用的强弱。 T_I 越小，积分作用越强； T_I 越大，积分作用越弱。当 $T_I = \infty$ 时，表示无积分作用。

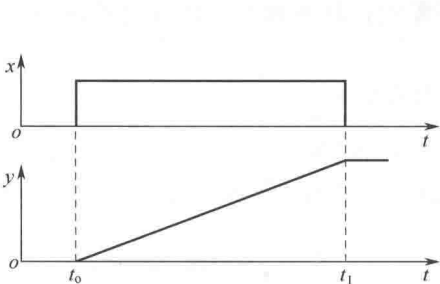


图 1-13 积分调节器的输出响应曲线

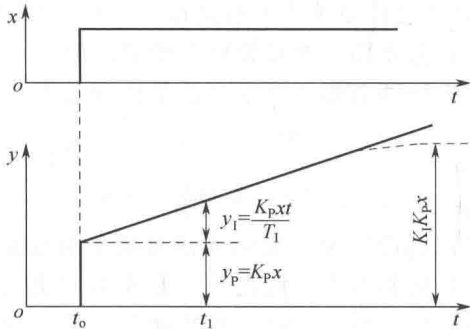


图 1-14 比例积分调节规律的阶跃响应曲线

比例积分调节器可以整定的参数是比例带 P_B 和积分时间 T_I 。积分时间的定义是：在阶跃输入信号作用下积分部分的输出变化到和比例部分的输出相等时所经历的时间。积分时间的刻度是以“分”为单位的，刻度值的大小不代表积分速度的快慢，只是表示积分速度增加或减小的方向。根据积分时间的定义可以测试积分时间的大小，通常给比例积分调节器加上一个适度的阶跃输入信号 x ，开始一瞬间有一比例输出 $y_P = K_P x$ ，随后同一方向上，在比例输出的基础上输出信号不断变化，积分输出 $y_I = K_P x t / T_I$ ，当 $y_I = y_P$ 时所用的时间就是积分时间，即 $t = T_I$ 。

上述的比例积分调节器在阶跃输入信号的作用下，输出的积分部分随时间不断地增长，只是一种理想状态。实际的比例积分调节器，由于放大器的开环增益为有限值，输出不可能无限增长，而是趋于有限值 $K_P K_I x$ 。 $K_P K_I$ 是 $t \rightarrow \infty$ 时实际的比例积分调节器的增益，称为静态增益 $K(\infty)$ ：

$$K(\infty) = K_P K_I \tag{1-11}$$

式中 K_I ——积分增益。

积分增益的定义是：在阶跃输入信号（幅度适当）的作用下，实际的比例积分调节器输出的最终变化量和初始变化量之比，即

$$K_I = y(\infty) / y(t_0) = K_P K_I x / K_P x$$

积分增益表示具有饱和特性的积分作用消除余差的能力。利用终值定理可求出系统余差，而最大余差出现在输出 $y = 100\%$ 处，即

$$x_{\max} = y_{\max} / K_P K_I = 1 / K_P K_I = \epsilon \% \tag{1-12}$$

比较式(1-6)和式(1-12)可以看出，比例调节器的调节精度为 $1/K_P$ ，实际的比例积分调节器的调节精度为 $1/K_P K_I$ ，实际的比例积分调节器和比例调节器相比较，其调节精度增加了 K_I 倍，显然消除余差的能力提高了，可见积分增益是一个重要的质量指标。为了提高调节精度的要求，实际的比例积分调节器都希望积分增益大一些。但是积分增益的大小和放大器的开环增益有着密切的联系，例如 ICE 调节器由于放大器的开环增益比较大，因