

高等学校教材

过程控制调节仪表

Guocheng Kongzhi Tiaojie Yibiao

郑建光 编著



中国计量出版社
CHINA METROLOGY PUBLISHING HOUSE

中国石化出版社

过程控制调节仪表

Guocheng Kongzhi Tiaojie Yibiao

第二版

中国石化出版社



中国石化出版社

高等学校教材

过程控制调节仪表

郑建光 编著

中国计量出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

过程控制调节仪表/郑建光编著. —北京: 中国计量出版社, 2007. 8

ISBN 978-7-5026-2675-4

高等学校教材

I. 过… II. 郑… III. 过程控制—工业仪表 IV. TP273

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 116056 号

内 容 提 要

本书主要包括: 总论、过程控制装置的基本调节规律、调节器、变送器、执行器和数字式调节仪表及装置。全书各章节内容选材合理、讲解系统深入, 不仅对相关理论和概念做出了明确地解释, 而且辅以控制理论进行必要的定性和定量分析。

本书可作为大中专院校热工自动检测与控制专业的教材, 也可作为相关专业师生的参考教材及相关工程技术人员的参考书。

中国计量出版社 出版

地 址 北京和平里西街甲 2 号 (邮编 100013)
电 话 (010) 64275360
网 址 <http://www.zgjl.com.cn>
发 行 新华书店北京发行所
印 刷 北京市媛明印刷厂印刷
开 本 787mm×1092mm 1/16
印 张 13
字 数 302 千字
版 次 2007 年 8 月第 1 版 2007 年 8 月第 1 次印刷
印 数 1—3 000
定 价 22.00 元

如有印装质量问题, 请与本社联系调换
版权所有 侵权必究

前 言

《过程控制调节仪表》是热工自动检测与控制、自动化仪表等专业的一门主要的专业课程。它以自动控制理论为基础，以检测控制仪表为工具，实现对生产过程或设备自动调节控制的技术。

作为一门工程应用技术，它要求具有一定的理论基础、同时应具备较强的实践技能。其前置课程为“电子技术”、“自动控制原理”、“传感器原理”、“过程检测技术”和“微机原理与应用”等。

本书是在编者多年教学实践的基础上，根据热工自动检测与控制专业及与之相近专业的教材要求而编写的，同时也可供其他相近专业和工程技术人员参考。

全书共分三大部分内容：第一部分为调节仪表相关的知识内容；第二部分为调节器、变送器和执行器的知识内容；第三部分简单介绍了数字式调节仪表与装置。本书有如下的特点。首先，各章节选材合理和够用，需要研讨的问题有较完整的交待，能帮助学生建立一个系统的概念，全面正确地掌握各知识点。同时，适当运用控制理论加以论证，进行必要的定性或定量分析。对工程性的内容则侧重定性的从物理概念上予以解释。本书涉及的是一门工程实践性很强的学科，许多知识只有通过实验实践环节，才能真正掌握，所以在本书的课外具有一定的实验内容与之配合。

由于编者水平有限，书中难免会有疏漏和不足之处，敬请各位读者批评指正，并提出宝贵意见，以便此书重印或再版时修改完善。

本教材的编写得到了中国计量学院梁国伟教授、孙斌副教授和章皓副教授的支持和帮助，在此表示感谢。

编 者
2007 年 7 月

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)
第三节 信号制	(6)
第四节 安全防爆的基础	(9)
第五节 电动单元组合仪表概述	(14)
思考题与习题	(16)
第二章 过程控制装置的基本调节规律	(17)
第一节 概述	(17)
第二节 基本控制规律对系统过渡过程的影响	(18)
第三节 控制规律的实现方法	(29)
思考题与习题	(34)
第三章 调节器	(36)
第一节 概述	(36)
第二节 DDZ - II 型调节器	(38)
第三节 DDZ - III 型调节器	(43)
第四节 气动调节器	(59)
思考题与习题	(98)
第四章 变送器	(102)
第一节 概述	(102)
第二节 变送器的构成	(103)
第三节 力平衡式变送器	(107)
第四节 电容式变送器	(122)
第五节 扩散硅式变送器	(135)
第六节 温度变送器	(136)
思考题与习题	(144)
第五章 执行器	(145)
第一节 概述	(145)
第二节 II 型电动执行机构	(146)
第三节 III 型电动执行机构	(155)

第四节 调节机构·····	(157)
, 思考题与习题·····	(169)
第六章 数字式调节仪表及装置 ·····	(171)
第一节 概述·····	(171)
第二节 智能调节器的构成·····	(172)
第三节 PID 控制算法·····	(177)
第四节 智能调节器的特点和应用·····	(182)
第五节 智能型现场仪表·····	(184)
第六节 集散控制系统·····	(189)
参考文献 ·····	(199)

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的。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，其中 q_i 表示物料的流入量， q_o 表示物料的流出量。

现在要对贮罐的流入量或流出量进行控制：(1) 稳定条件下，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；(2) 工况变化时，若流出量增加了，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，根据比较的结果做出判断，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。

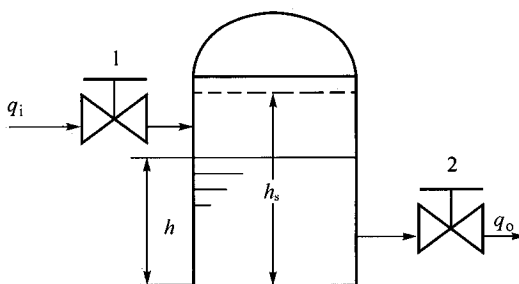


图 1—1 贮罐液位手动调节示意图

h —贮罐的液位； h_s —生产需要的贮罐液位高度；

1—物料的进口阀；2—物料的出口阀

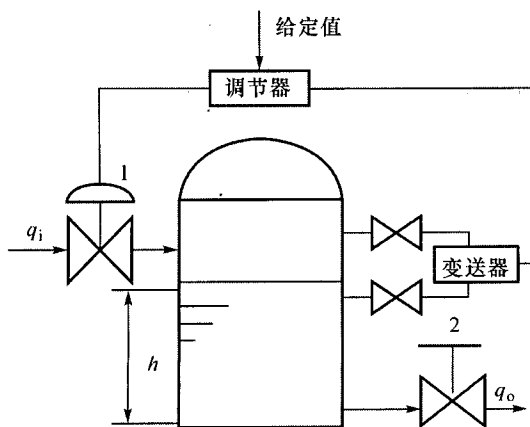


图 1—2 贮罐液位自动控制示意图

1—执行器；2—出料阀

而生产过程自动化就是采用自动化技术及工具，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（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（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，用以改变贮罐的流入量，使液位保持在给定值 h_s 。这就是过程自动控制。

从图 1—2 可看出：

自动控制系统有几个部分：(1) 被调对象（如贮罐）；(2) 变送器；(3) 调节器和执行器。

自动控制系统各组成部分之间的相互影响和信号联系，一般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。

被调对象——需要调节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。

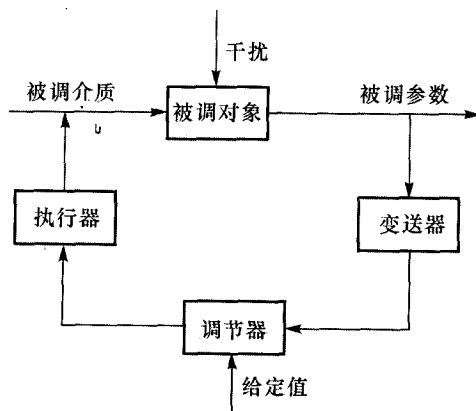


图 1—3 控制系统方框图

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（1）给定装置；（2）转换装置；（3）显示装置等。这些自动化技术工具就是我们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

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

气动调节仪表采用的气压信号作为能源，20 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，至今仍被大量采用，并且具有广阔前景。

电动调节仪表采用 220 V 交流供电或 24 V 直流供电。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：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：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，还能实现其他特殊的调节规律，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、集中分散型综合控制系统。

基地式调节仪表：其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：其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。

组装式综合控制装置：其结构分成两大部分，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，由于组件板安插方便，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控制技术、顺序控制、CRT 显示技术来集中进行显示操作。体积小，人一机关联好，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，在结构设计、组件排列、系统布线等方面的设计，简化了系统工程，缩短了安装调试时间，减少了工程费用，给使用单位带来了方便。

集中分散型综合控制系统：其结构以微处理机为核心，与数据通信系统、CRT 显示装置、过程输入输出接口相结合，构成了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。操作人员通过监视站操作进行集中管理，便可统观全局进行综合控制。装置特点是系统控制功能分散，监视操作集中，控制逻辑可扩展，人机联系完善，安装布线简单，运行安全可靠。

（四）过程控制性能指标

过程控制系统的性能是由组成系统的结构、被控过程与过程仪表（测量变送、执行器和控制器）各环节特性所共同决定的。一个性能良好的过程控制系统，在受到外来扰动作用或给定值发生变化后，应能平稳、准确、迅速地回复（或趋近）到给定值上。

过程控制系统性能的评价指标可概括如下：

- （1）系统必须是稳定的；
- （2）系统应能提供尽可能好的稳态调节（静态指标）；
- （3）系统应能提供尽可能好的过渡过程（动态指标）。

稳定是系统性能中最重要、最根本的指标，只有在系统是稳定的前提下，才能讨论静态和动态指标。

控制系统性能指标应根据生产工艺过程的实际需要来确定，特别需要注意的是，不能不

切实际地提出过高的控制性能指标要求。

过程控制系统通常采用系统阶跃响应性能指标,在采用计算机仿真或分析时,有时也采用偏差积分性能指标。

系统阶跃响应性能指标

在阶跃扰动作用下,控制系统过渡过程曲线有以下几种典型形式:发散振荡过程、非振荡发散过程、等幅振荡过程、衰减振荡过程、非振荡衰减过程,如图 1—4 所示。

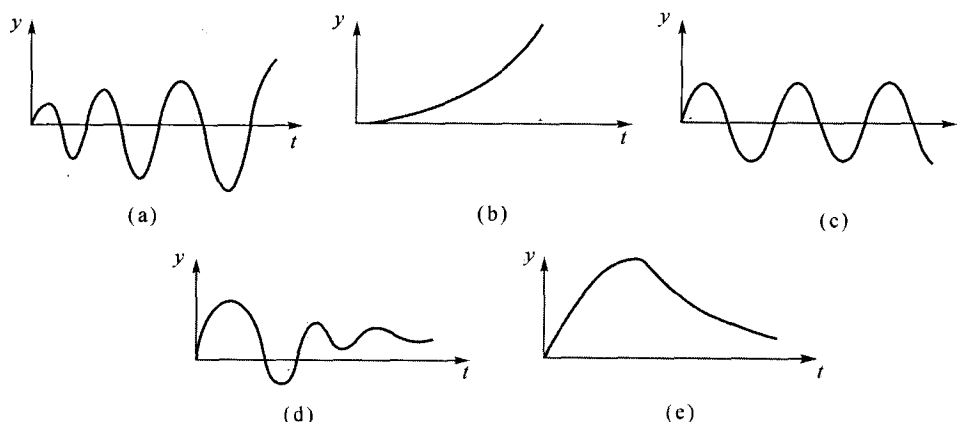


图 1—4 阶跃扰动作用下控制系统过渡过程曲线

(a) 发散振荡过程; (b) 非振荡发散过程; (c) 等幅振荡过程;
(d) 衰减振荡过程; (e) 非振荡衰减过程

由于发散振荡、非振荡发散和等幅振荡这三种过程均属不稳定过程,性能指标无从谈起。而衰减振荡和非振荡衰减这两种过程为稳定过程,本书以较复杂也最为常见的衰减振荡过程为例来介绍过程控制系统的常用性能指标。

(1) 稳态误差 e_{ss}

稳态误差是指系统过渡过程终了时给定值与被控参数稳态值之差,它是反映控制精度的一个稳态指标。给定值阶跃变化时过渡过程的典型曲线如图 1—5 所示。则:

$$e_{ss} = r - y(\infty) \quad (1-1)$$

一般要求稳态误差不超过预定值,并且最理想是等于零。

在过程控制中,了解或研究控制系统的动态特性比其静态特性更为重要。因为在生产过程中,干扰是无时不在的。在扰动引起系统变化后,就需要通过控制装置不断地施加控制作用去消除干扰作用的影响,使被控参数保持在工艺生产所规定的技术指标上。所以,控制系统时时刻刻都处在一种频繁的、不间断的动态调节过程

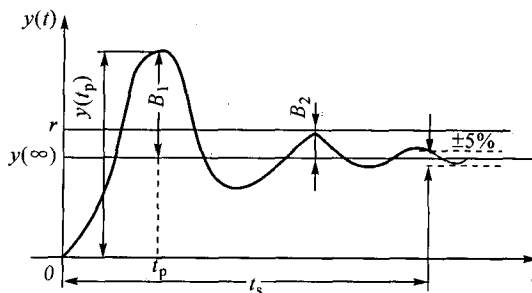


图 1—5 给定值阶跃变化时过渡过程的典型曲线

中。因此说研究控制系统的动态特性比其静态特性更有意义。

(2) 衰减比 n

衰减比是衡量系统过渡过程稳定性的一个动态性能指标。它可定义为：

$$n = \frac{B_1}{B_2} \quad (1-2)$$

为了保持系统足够的稳定程度，一般取衰减比为 $4:1 \sim 10:1$ 。其中 $4:1$ 衰减比常作为评价过渡过程动态性能的一个理想指标。

(3) 超调量 σ

对于定值系统来说，最大偏差是指被控参数第一个波峰值与给定值之差，进一步采用超调量可表示为：

$$\sigma = \frac{y(t_p) - y(\infty)}{y(\infty)} \times 100\% \quad (1-3)$$

(4) 过渡过程时间 t_s

过渡过程时间是指系统从受扰动作用时起，直到被控参数进入新的稳定值 $\pm 5\%$ （或 $\pm 2\%$ ）范围内所经历的时间，它是反映系统快速性能的指标。通常要求 t_s 愈短愈好。

上述性能指标之间有时是相互矛盾的，如稳态精度要求较高时，可能导致系统超调量增大，甚至不稳定。对于不同的控制系统，这些性能指标各有其重要性。应根据工艺生产的具体要求，分清主次，统筹兼顾，保证优先满足主要的品质指标要求。

【例 1-1】阶跃响应性能指标。

某生产工艺规定操作温度为 $(40 \pm 5)^\circ\text{C}$ 。现设计一定值控制系统，在阶跃扰动作用下的过渡过程曲线如图 1-6 所示。试确定该系统的稳态误差、衰减比、超调量和过渡过程时间。

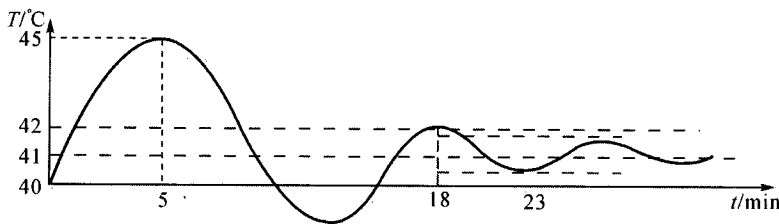


图 1-6 发酵反应过渡过程曲线示意图

解：由反应曲线可知：

稳态误差： $e_{ss} = 41 - 40 = 1^\circ\text{C}$

衰减比：第一个波峰值 $B_1 = 45 - 41 = 4^\circ\text{C}$

第二个波峰值 $B_2 = 42 - 41 = 1^\circ\text{C}$

$$n = \frac{B_1}{B_2} = 4:1$$

超调量： $\sigma = (45 - 41)/41 = 9.75\%$

由图 1-6 可见，过渡过程时间 $t_s = 23 \text{ min}$ （误差带为 $\pm 2\%$ ）。

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、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要求。

(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、优化、非线性等等,而且还要有程序控制和各种连锁保护。

(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。

(3) 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三十多年的历史,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。

(4) 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。

(5) 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利用,如利用数据通讯技术、CRT显示技术、程序控制技术、数据逻辑技术,以及使主设备的启、停,实现自动化等等。

(6) 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。尤其是随着微分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

信号制: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。通常包括模拟信号、数字信号、频率信号、脉宽信号。

气动模拟信号:在国际上采用 $0.2 \sim 1.0 \times 10^2$ 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 $4 \sim 20$ mA,直流电压信号为 $1 \sim 5$ 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。

电动模拟信号有直流电流、直流电压、交流电流、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(有个活零点),上限可以低也可以高。

一、直流信号和交流信号的比较

在传输导线中,直流信号不像交流信号那样易受交流感应的影响,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础电压,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—7 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)。

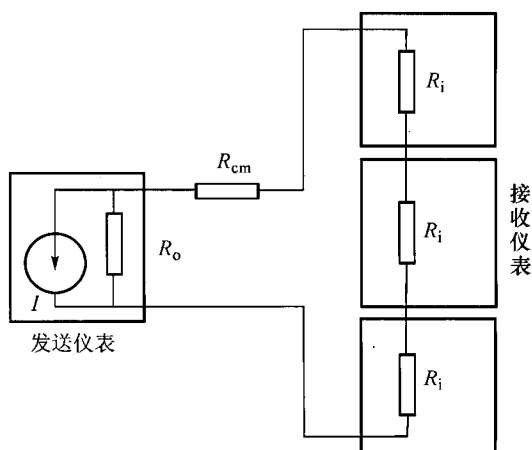


图 1—7 直流电流信号时仪表之间的连接

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

$$\epsilon = \frac{R_{cm} + nR_i}{R_o + R_{cm} + nR_i} \times 100\% \quad (1-4)$$

式中： n ——接收仪表的台数。

由式(1-4)可知，为保证传输误差在允许范围内，要求 $R_o \gg R_{cm} + nR_i$ ，因此 R_o 和 R_i 可根据允许误差和经济技术指标来确定。

$$\epsilon = \frac{R_{cm} + nR_i}{R_o} \times 100\% \quad (1-5)$$

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，要求它的输出阻抗要足够大，而接收仪表的输入阻抗应尽量小。

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，直流电流信号适用于远距离传输。

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提供了方便；

(3) 由于串联工作，当一台过程控制装置损坏或补入时，将影响其他装置的正常工作；

(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接收仪表时，所有这些仪表必须并联连接，如图 1-8 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，信号电压将发送仪表内阻及连接导线电阻上损失一部分电压，从而造成的直流电压信号传输误差：

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

$$\epsilon = \frac{R_o + R_{cm}}{R_o + R_{cm} + \frac{R_i}{n}} \times 100\% \quad (1-6)$$

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

$$\epsilon \approx n \frac{R_o + R_{cm}}{R_i} \times 100\% \quad (1-7)$$

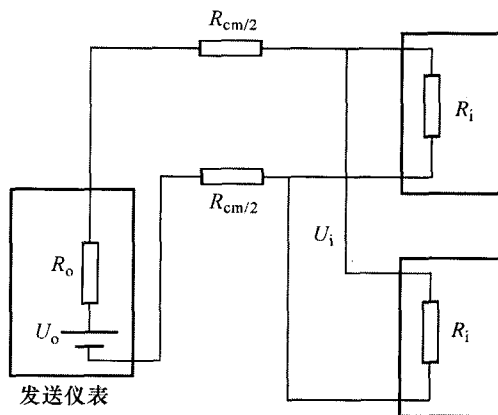


图 1-8 直流电压信号时仪表之间的连接

由式(1—7)可知: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点:

- (1) 由于并联工作,取消或补入某个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。

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。直流电流信号上限值高一些,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 安全防爆的基础

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。自然物质和助燃物质合在一起,则称为爆炸性混合物。

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、氨等易燃易爆的气体。这些可燃性气体是自然物质,空气中的氧是助燃物质,它们按一定的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 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 G 类危险场所。

第三类危险场所:即火灾危险场所,称 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：在正常情况下能形成爆炸性混合物的场所；

Q-2级：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：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：

- (1) 安全型（符号用 A 表示）；
- (2) 隔离型（符号用 B 表示）；
- (3) 充油型（符号用 C 表示）；
- (4) 通风充气型（符号用 F 表示）；
- (5) 安全火花型（本质安全型用 H 表示）；
- (6) 特殊型（符号用 T 表示）。

过程控制装置防爆结构可分为隔离型和安全火花型。

1. 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：采用耐压 0.8~1 MPa 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离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。

2. 安全火花型防爆结构

是指在正常状态下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 $\leq 24\text{ V DC}$ ^①，工作电流 $< 20\text{ mA DC}$ ；故障时工作电压 30 V DC ，工作电流 20 mA DC 。

注：① DC：直流电。