

高等学校教学用书

过程控制仪表

GAODENG

XUEXIAO

JIAOXUE

YONGSHU

冶金工业出版社

高等学校教学用书

过程控制仪表

华东冶金学院 徐春山主编

冶金工业出版社

(京) 新登字 036 号

图书在版编目 (CIP) 数据

过程控制仪表/徐春山主编. -北京: 冶金工业出版社,
1995

高等学校教学用书

ISBN 7-5024-1612-9

I. 过… I. 徐… III. ①过程控制-工业仪表-高等学校
-教材②工业仪表-自动化仪表-高等学校-教材 IV. ①TH86
②TP216

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (94) 第 12717 号

出版人 卿启云 (北京沙滩嵩祝院北巷 39 号, 邮编 100009)

有色曙光印刷厂印刷; 冶金工业出版社发行; 各地新华书店经销

1995 年 5 月第 1 版, 1995 年 5 月第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16; 22 印张; 522 千字; 342 页; 1-4000 册

12.70 元

前 言

《过程控制仪表》教材是根据冶金、有色冶金系统高等院校“八五”教材建设规划而编写的。全书着重介绍过程控制仪表的系统知识，过程控制仪表的基本机理和分析方法，模数结合知识，反馈原理的应用和抗干扰知识。其内容紧密结合工程实际，目的是提高读者将过程控制仪表应用于工程的能力和培养读者的开发能力。

全书分上、下两篇。上篇为模拟控制仪表，下篇为数字控制仪表。上篇对我国的主体过程控制仪表 DDZ-Ⅲ 型电动单元组合仪表作了较详细地分析。下篇对技术先进的单回路调节器和集散系统作了详细地分析和应用举例，并介绍 DDZ-S 系列仪表和 YS-80 系统仪表的有关知识，同时结合冶金企业技术改造介绍工业计算机用于控制的有关知识。

在编写方法上，力求由浅入深，由简到繁，主次分明，重点突出，强化基础理论，强调理论和实际相结合。

第一章至第四章、第六章和第八章由华东冶金学院徐春山编写；第五章和第七章由昆明工学院陈远宏编写。全书由徐春山主编。

参加本书审稿的同志有：东南大学邵裕森（组长）、南京化工学院蒋晋堂、北京科技大学吴并臻、东北工学院白继忠。他们对初稿进行了认真审定，在此表示衷心感谢。

由于作者水平有限，难免存在缺点和错误，敬请读者批评指正。

编者

1993.2

EAD30/02

目 录

第一章 概论	(1)
第一节 过程控制仪表的发展和分类	(1)
一、过程控制仪表的发展	(1)
二、过程控制仪表的分类	(2)
第二节 信号制及供电方式	(3)
一、信号制	(3)
二、供电方式	(4)
第三节 安全防爆的基本知识及工程防爆措施	(5)
一、安全防爆的基本知识	(5)
二、安全火花防爆仪表的设计要点	(6)
三、控制系统的防爆措施	(6)
上篇 模拟控制仪表	
一、DDZ-Ⅲ型电动单元组合仪表概况	(15)
二、DDZ-Ⅲ型电动单元组合仪表的品种分类	(16)
第二章 模拟调节器	(17)
第一节 调节规律及其表达式	(17)
一、调节器的调节规律	(17)
二、调节规律的表达式	(20)
第二节 基型调节器	(22)
一、基型调节器的工作原理和线路分析	(23)
二、基型调节器的参数计算	(41)
第三节 特种调节器	(53)
一、抗积分饱和调节器	(53)
二、前馈调节器	(55)
三、微分先行 PID 调节器	(55)
四、DDC 备用调节器	(57)
第三章 变送器、转换器及运算器	(60)
第一节 DDZ-Ⅲ型机电式差压变送器	(60)
一、工作原理	(60)
二、主要部件功能介绍	(64)
第二节 电容式差压变送器	(68)
一、电容式差压变送器的组成	(68)
二、输入转换部分	(69)
三、放大器和反馈部分	(73)

四、差压变送器使用中的防腐防堵	(74)
第三节 温度变送器	(76)
一、概述	(76)
二、四线制温度变送器	(76)
三、两线制温度变送器	(87)
第四节 信号转换器	(87)
一、电/气转换器	(88)
二、光电隔离器	(93)
第五节 加减器	(98)
一、工作原理	(98)
二、电路分析	(98)
第六节 乘除器	(102)
一、工作原理	(102)
二、原理框图分析	(102)
三、电路分析	(104)
四、乘除器的使用	(108)
第七节 开方器	(111)
一、开方器在自动控制系统中的作用	(111)
二、工作原理	(111)
三、电路分析	(112)
第四章 执行器	(115)
第一节 执行机构	(115)
一、电动执行机构	(115)
二、气动执行机构	(123)
三、执行机构的输出力(力矩)	(126)
四、阀门定位器	(127)
第二节 调节机构	(130)
一、调节机构的种类	(130)
二、调节阀的特性分析	(132)
第三节 执行器的选择计算	(143)
一、执行器结构形式的选择	(143)
二、调节阀流量特性的选择	(144)
三、调节阀口径的选择	(146)

下篇 数字控制仪表

第五章 可编程序调节器	(149)
第一节 可编程序调节器的结构工作原理及功能	(149)
一、概述	(149)
二、基本结构及工作原理	(150)

三、数字滤波	(152)
四、可编程序调节器的功能	(154)
五、可编程序调节器的编程语言	(156)
六、可编程序调节器的控制算式	(157)
第二节 KMM 可编程序调节器	(168)
一、概述	(168)
二、KMM 的结构及工作原理	(169)
三、KMM 的面板及数据类型	(170)
四、KMM 可编程序调节器的功能	(172)
五、KMM 可编程序调节器的控制类型	(181)
六、KMM 可编程序调节器的辅助开关	(183)
七、KMM 可编程序调节器的软件设计	(183)
八、KMM 可编程序调节器的运算式分析	(196)
第三节 KMM 的操作方式	(204)
一、KMM 的正面板操作方式	(204)
二、数据设定器及其操作方式	(205)
三、KMM 的运行状态	(212)
四、“M”“A”“C”状态与 COMP 状态的互切换	(214)
第四节 KMM 可编程序调节器的应用	(215)
一、前馈-反馈控制系统	(215)
二、前馈-串级控制系统	(215)
三、变参数控制系统	(215)
四、程序控制系统	(217)
五、时间比例控制系统	(217)
六、外部设定控制系统	(217)
七、自动偏置 PID 控制系统	(218)
八、选择性控制系统	(219)
九、Smith 预估补偿控制系统	(220)
第六章 DDZ-S 系列仪表及 YS-80 系列仪表	(239)
第一节 DDZ-S 系列仪表概述	(239)
一、S 系列仪表的基本特点	(239)
二、S 系列仪表的主要技术指标	(241)
三、S 系列仪表的命名方法	(241)
第二节 智能变送器 ST3000	(242)
一、测量原理	(242)
二、ST3000 变送器的结构	(244)
第三节 SRHD 智能记录仪	(246)
一、输入及输出信号回路	(247)

二、软件功能	(247)
第四节 STED 温度变送器	(248)
一、直流毫伏输入式变送器	(249)
二、热电偶温度变送器	(250)
三、热电阻温度变送器	(252)
第七章 分散型综合控制系统	(254)
第一节 发展概况及基本构成	(254)
一、发展概述	(254)
二、集散系统的基本结构	(256)
第二节 TDC-3000 集散系统	(258)
一、TDC-3000 系统构成	(258)
二、分散过程控制装置	(261)
三、基本控制器 BC	(264)
四、多功能控制器 MC	(283)
五、数据采集装置	(290)
六、增强型操作站 (EOS)	(299)
七、TDC-3000LCN	(317)
八、TDC-3000 可靠性分析	(319)
第八章 过程控制计算机在冶金企业技术改造中的作用	(323)
第一节 过程控制计算机的应用	(324)
一、过程控制计算机的分类	(324)
二、过程输入通道	(326)
三、过程输出通道	(334)
第二节 微机调节器的软件	(340)
一、模拟量输入通道的输入方式	(340)
二、输出通道中的标度变换器	(341)
主要参考资料	(343)

第一章 概 论

过程控制仪表是工业生产过程自动化的重要工具。此类仪表分为两大类：模拟式过程控制仪表和数字式过程控制仪表。两者的技术水准和设计方法虽有区别，但由于用途相同，所以某些基本概念是一致的，设计思想也是相似的。数字过程控制仪表是在模拟过程控制仪表的基础上发展起来的，所以目前不管是数字过程控制仪表本身还是数字自控系统都是模—数混合体。因此，本书先介绍模拟过程控制仪表，后介绍数字过程控制仪表。

第一节 过程控制仪表的发展和分类

一、过程控制仪表的发展

过程控制仪表和工业自动化是同步发展的，其发展过程大致分为以下三个阶段：

(1) 30~40年代，运用以单变量控制为主要内容的古典控制理论，采用大尺寸的基地式仪表，实现就地分散控制，以稳定产品质量，改善劳动条件，降低原料和能源消耗。

(2) 50~60年代，运用以多变量控制，最佳控制和自适应控制为主要内容的现代控制理论，以单元组合仪表构成集中分散控制系统，并将单元组合仪表、巡回检测仪表和工业计算机相配合组成控制系统，以适应工业设备大型化和连续化，实现集中控制和最佳控制，提高设备效率，确保生产安全。

(3) 70年代以来，运用大系统理论，采用大、中、小型计算机，组成分级控制系统——简称集散系统，把单机控制、协调控制、最佳控制和管理调度联系起来，实现综合自动化。

过程控制仪表的发展阶段，在时间上各国都没有明显的界限。建国以来，在自力更生的方针指引下，在所有从事工业自动化工作人员的努力下，我国的过程控制仪表与其他工业自动化仪表一样，从无到有，从初级到高级，基本上跟上了国际发展的水平。

50年代后期到60年代中期，我国自行设计和生产了较完善的系列的基地式显示控制仪表。这期间，同时研制了气动单元组合仪表和I、II型电动单元组合仪表，稍后又研制了较先进的III型电动单元组合仪表。我国较早研制的DJS-K工业计算机曾成功地用于工业控制，它是64回路的直控仪。改革开放以来，引进了不少国外先进技术，其中也包括控制技术和过程控制仪表。在消化吸收的基础上，我国已从零星的分散研制微机过程控制仪表进入到自行设计适合我国国情的系列微机过程控制仪表——DDZ-S系列控制仪表。

由于许多工业部门相继出现了大型、高效率、具有临界参数的新型生产设备、对过程控制仪表提出了许多新的要求。其主要有：

(1) 控制功能多样化。按设备运行的要求，不但要有各种反馈控制功能和多种调节规律，而且要有程序控制和各种连锁保护。

(2) 系统要便于功能扩展。自动控制系统可以由简单到复杂逐步改进，也可以随工艺的变化而较方便地变化。这些都要求控制仪表能灵活地组成各种控制系统。

(3) 解决好模拟仪表与计算机的兼容性问题。由于技术的进步人们已经找到了计算机用于工业控制的途径，而计算机控制必定会和模拟仪表发生关系，因此，全面考虑工业计算机和模拟仪表的兼容是一个重要的问题。

(4) 提高仪表和系统的可靠性。近代的大工业装置很多是工作在临界状态，因此对自动控制的可靠性提出了极苛刻的要求，不但要求仪表本身有高质量和高可靠性，还要在系统方面采取监控保护措施。

(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，所用的控制仪表也愈来愈多。为此，需将自动化仪表各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、字符图像技术及数据通讯技术，使主设备的起停实现自动化。用数字控制技术使盘面大大缩小，以利于运行和管理。

(6) 便于工程的系统安装。若是整套自控系统在仪表厂就预先组装好，这样就大大降低设计单位和安装单位的工作量，加速基建周期，减少安装成本。

二、过程控制仪表的分类

1. 模拟仪表的分类

(1) 按能源模拟仪表分为气动控制仪表和电动控制仪表。

气动控制仪表的特点是性能稳定、可靠性高，具有本质防爆性能，特别适用于石油、化工等有爆炸危险的场所。

由于电子技术的发展，电动控制仪表的防爆问题得到解决，使其得到迅速发展和广泛应用。

电动控制仪表得到高速发展还因其与气动控制仪表相比具有以下优点：电信号无迟后传输；便于实现较复杂的调节规律；远距离集中显示和操作，故适用于大规模的控制系统；因能源方便，更适用于中、小型生产。

虽然电动控制仪表发展迅速，但气动控制仪表仍有它的地位和发展余地，在世界性的销售量中尚占三分之一左右。尤其气动执行器具有安全、可靠、工作平稳和功率大等优点，应用十分广泛。

(2) 按结构形式模拟仪表分为基地式控制仪表、单元组合仪表和组件组装式控制仪表。

1) 基地式控制仪表 其结构特点是以指示和记录仪表为中心，附加气动部件或电子线路来完成控制任务。因价格低，又能一机多用，故适用于中、小企业和单机自动控制系统。我国生产的 XCT 系列控制仪表和 TA 系列电子调节器均属基地式控制仪表。

2) 单元组合仪表 其结构特点是将整套仪表划分为能独立实现一定功能的若干单元，各单元之间采用统一的标准信号，用这些为数不多的单元仪表可以构成多种多样、复杂程度不同的自动检测和控制系統。电动单元组合仪表用 DDZ 表示，气动单元组合仪表用 QDZ 表示。

3) 组件组装式控制仪表 其结构特点是由一块块功能分离的组件构成成套仪表装置。它一般分为控制箱和操作盘两大部分。控制箱中插入若干组件箱，组件箱中插入若干组件板，且采用高密度安装，充分利用空间。显示操作盘只占很小的地方。若再用电子屏幕(图像)集中显示，则改善了人-机联系。在控制箱中各组件之间的信息联系采用矩阵端子接线方式。接线工作在矩阵端子接线箱中进行。

组装仪表还兼用了模拟技术和数字技术，并能与工业控制机、程控装置、图像显示等新技术工具配合使用。因此，它特别适用于效率高的大型设备的自动化。

我国生产的 TF 型控制装置和 MZ-Ⅱ型控制装置均属于组件组装式控制装置。

2. 数字控制仪表的分类

数字控制仪表按工程用途分为六类：操作指导装置、设定值控制装置、直接数字控制装置、监督控制装置、集中分散控制装置和 DDZ-S、YS-80 数字单元组合仪表。其内涵将在下篇各章中介绍。

第二节 信号制及供电方式

过程控制系统中所使用的仪表有些安装在现场，有些安装在控制室内。各仪表之间用统一的联络信号，才能方便地把各个仪表组合起来。建立信号制的基本思想是：信号传输质量较高，符合防爆要求，便于仪表的结构设计，安装和使用。

一、信号制

气动控制仪表的信号制为 0.02~0.1MPa。组件组装式仪表的信号制以 0~10mA、4~20mA DC 作为现场传输信号；0~10VDC 作为机柜内联络信号。DDZ-I 型电动单元组合仪表的信号制以 0~10mA, DC 作为现场传输信号；0~2V, DC 作为控制屏内传输信号。DDZ-III 型电动单元组合仪表的信号制以 4~20mA, DC 作为现场传输信号；1~5V, DC 作为控制屏内传输信号。DDZ-S 仪表的信号制与 DDZ-III 型电动单元组合仪表相同。

目前的工业控制系统中所使用最为普遍的信号制是：远距离传输采用 4~20mA, DC；近距离采用 1~5V, DC。其特点为：

(1) 直流信号与交流信号相比较，直流信号有以下优点：在信号传输过程中，不受交流感应的影 响，易于解决仪表的抗干扰问题；便于模/数转换，便于和数字装置配用；容易获得基准电压。因此，世界各国都以直流电压和直流电流作为统一信号。

(2) 直流电流适宜远距离传输信息。根据图 1-1 很容易求得直流电流信号传输过程中，导线电阻所引起的传输误差为

$$\epsilon = - \frac{R_{cm} + r_i}{r_o + R_{cm} + r_i} \times 100\% \quad (1-1)$$

式中 r_o ——发送仪表的输出阻抗；

r_i ——接受仪表输入阻抗；

R_{cm} ——传输导线的电阻。

因 $r_o \gg R_{cm} + r_i$ ，则式 (1-1) 可简化为：

$$\epsilon = - \frac{R_{cm} + r_i}{r_o} \times 100\% \quad (1-2)$$

r_i 为 250Ω，将 4~20mA, DC 转换为 1~5V, DC 信号供接收仪表接收。一般为保证在 3~5km 内传输满足经济指标和允许误差而确定 r_o 。由于发送仪表输出的是电流，相当于恒流源，输出阻抗很高，即 r_o 很大，故远距离传输误差小。

(3) 直流电压信号适宜近距离传输信息。根据图 1-2 求得单表接收电压源传输信号时的误差为

$$\epsilon = - \frac{r_o + r_{cm}}{r_i} \times 100\% \quad (1-3)$$

式中 r_o ——信号源内阻；

r_{cm} ——传输导线阻抗；

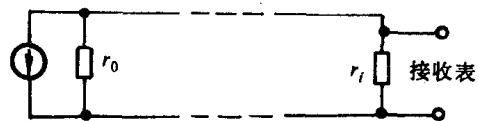


图 1-1 电流传输原理图

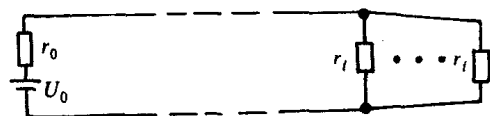


图 1-2 电压传输原理图

r_i ——接受仪表的输入阻抗。

n 台输入阻抗相同的表接受电压源传输信号时的误差为

$$\varepsilon = -n \cdot \frac{r_o + r_{cm}}{r_i} \times 100\% \quad (1-4)$$

从式 (1-4) 看出：电压信号只适宜近距离传输。

实际工程中信号传输的方式为：远距离电流传输，近距离电压传输，如图 1-3 所示。这样只要接收表的输入阻抗足够高，就不影响信号的传输质量。

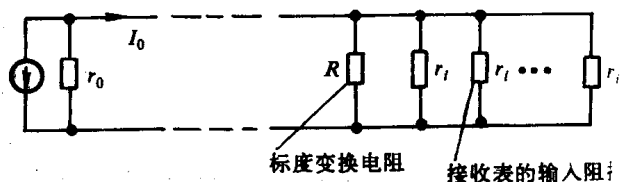


图 1-3 工程中使用的信号传输原理图

(4) 信号上、下限的选择。防爆提出的额定直流电压不大于 30V，额定直流电流不大于 30mA，信号的上限大些利于变送器的设计制造。两者综合考虑，选择上限电流为 20mA，DC，上限电压为 5V，DC。取 5V，DC 还考虑了集成电子器件的工作电压，利于模拟表和数字表的配合使用。

由于 DDZ-Ⅲ 电单仪表采用二线制，即两根传输线既作电源线，又作信号线，故而信号的下限不能从零开始。若是从零开始，则发送仪表的电路必然有较大的死区存在。为了使电路有正常的工作点，所以选择下限电流为 4mA，DC，下限电压为 1V，DC。下限不从零开始，提高了系统的抗干扰能力。

4~20mA，DC 和 1~5V，DC 信号制是 1973 年国际电工委员会 (IEC) 第 65 次技术委员会通过的标准。我国 DDZ-Ⅲ 型电单仪表和 DDZ-S 型微机控制仪表采用了国际统一标准，数字控制仪表的输出输入信号制也使用统一标准。各种其它信号制的仪表最后都设置了信号转换单元，将其转换为统一信号制，以利配套使用。

二、供电方式

目前冶金工业中使用的主要控制工具都采用集中供电，供电电压为 24V，DC，也就是说整个大系统只有一个位于控制室内的 24V，DC 电源。这为现场仪表的防爆提供了有利条件，同时减小了各仪表的体积和重量。当工业用 ~220V 断电时，能自动投入直流低电压 (24V) 备用电池，而构成无停电装置。

当然，直流 24V 集中供电，也给电子线路的设计带来一些困难。

单电源供电带来的问题及解决方法：

(1) 在 1~5V，DC 信号输入时，若单电源供电则集成运算放大器“+”“-”输入端的电位超出了共模电压范围，使运放不能正常工作，甚至损坏。

一般手册上给出的集成运算放大器的共模电压范围都是指运放的供电电压为 ±15V，DC 时的值，其值为 +7~-12V。而改用 +24V，DC 供电时，共模电压范围变为 3~17V。1~5V，DC 输入信号不在运放的共模电压范围内，运放不能对输入信号进行处理。解决的办法是将以零伏为基准的 1~5V，DC 输入信号的电平移动到以 $U_B=10V$ 为基准的信号。仪表内部各级的信号均以 U_B 为基准。输出电路再将信号移到以零伏为基准。

(2) 集中供电时，变送器的输出信号在导线电阻上产生的压降与有用信号一起加在下级电路输入端，相当于串模干扰，从而引起附加误差。为此，输入电路都采用偏差差动电路，将串模干扰转变为共模干扰，而差动电路具有良好的抗共模干扰的能力。

第三节 安全防爆的基本知识及工程防爆措施

一、安全防爆的基本知识

在某些生产场所存在着易燃易爆的固体粉尘、气体或蒸汽，它们与空气混合成为具有火灾或爆炸危险的混合物，使其周围空间成为具有不同程度爆炸危险的场所。安装在这类场所的检测仪表和执行器如果产生的火花具有点燃这些危险混合物的能量，则产生火灾或爆炸。

1. 危险场所的分类、分级

(1) 第一类 含有可燃性气体或蒸汽的爆炸性混合物的场所，称为 Q 内场所。

(2) 第二类 含有可燃性粉尘或纤维混合物的场所，称为 G 类场所。

(3) 第三类 火灾危险场所，称为 H 类场所。

第一类危险程度最高，将其分为三级：

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。

2. 爆炸性混合物的分级、分组

根据我国的规定，以最小引燃电流 i 将易爆性气体或蒸汽混合物分为三级。I 级： $i > 120\text{mA}$ ，丙烷；II 级： $120\text{mA} \geq i > 70\text{mA}$ ，乙烯；III 级： $i < 70\text{mA}$ ，氢。

以自燃温度 T 将易燃性气体或蒸汽混合物分为五组。即 a 、 b 、 c 、 d 、 e 组。其自燃温度分别为 450°C 、 300°C 、 200°C 、 135°C 和 100°C 。将每组自燃温度乘以 80% 就是仪表表面的最高允许温度。再将仪表表面的最高允许温度减去仪表温升就是仪表允许环境温度。若仪表温升以 10°C 计算，则各组对应的环境温度如表 1-1 所示。

表 1-1

组 别	a 450 C	b 300 C	c 200 C	d 135 C	e 100 C
仪表表面允许温度	360 C	240 C	160 C	110 C	80 C
允许最高环境温度	350 C	230 C	150 C	100 C	70 C

表中所列数据是指可燃性气体不致引起爆炸的环境温度。另一方面要保证仪表正常工作，还要考虑仪表本身所能适应的温度。如安全栅的工作环境温度为 $0 \sim 50^\circ\text{C}$ ，差压变送器的工作环境温度为 $-40 \sim +80^\circ\text{C}$ 。

3. 仪表的防爆等级标志

仪表的防爆等级有以下三种：

(1) H III。“H”指安全火花型；“III”指小引爆电流（小于 70mA ）；“e”指自燃温度为 e 组。

(2) B3_d “B”指隔爆型；“3”指三级防爆；“d”指自然温度为 d 组。

(3) AB_{3d} “A”指安全型；“B”表示主体为安全型，接线盒附件为隔爆型；三级 d 组防爆。

最后须着重指出：仪表在安装、维护和使用时，必须严格按照国家规定的防爆规程进行，方能保证其防爆性能。

二、安全火花防爆仪表的设计要点

1. 降低安全火花电路的能量

电流 I 流过电感 L 时，在 L 中建立起磁场，磁场中储存能量 $W_L = \frac{1}{2}LI^2$ 。当电路开路时，瞬间释放能量，在开路处产生火花，火花能量就是释放的磁场能量。对于有电感电路的设计要点是：降低 L 的数值和减小流过电感的电流，使其产生的火花能量小到不足以点燃或引爆周围的危险混合物，同时使有电感元件的电路不发生开路现象；在 L 的两端并联面接触型二极管，提供在电路开路时磁场能量有释放回路；封装电路中的限流电阻不让其短路等。

电路中的电容在充电过程中，两极板之间建立起电场，电场储有能量 $W_C = \frac{1}{2}CU^2$ 。在电路短路的瞬间释放能量，产生火花。有电容电路的设计要点是：降低 C 值和 U 值，使火花能量降到不足以引燃或引爆周围的危险混合物，同时采取措施不让有电容元件的电路发生短路；在 C 两端并联二极管，使其电压不超过额定值。

在电路设计时，将 I 、 U 、 L 、 C 限制在一定值下，使电路中任何部位在短路、开路下产生的火花能量，不足以引起周围介质的燃烧和爆炸。所以在检修安全火花型防爆仪表时，不得任意变更电路中 R 、 L 、 C 的数值。

2. 机械隔离

在安全火花防爆仪表中，有两种性质的电路。其一是安全火花电路，这种电路是严格按照国家防爆规程进行设计的；其二是一般电路，即非安全火花电路。当两种电路处于同一块印刷电路板或同一壳体内时，必须采取严格有效的措施。

在安装时，将安全火花电路和非安全火花电路实行机械隔离，两者端子距离不小于 50mm，或用绝缘屏障或用接地的金属屏障隔离。

三、控制系统的防爆措施

控制系统是由多种功能各异的仪表构成的，一部分是安装在控制室内的非防爆型仪表，一部分是安装在危险区的安全火花型防爆仪表，两部分仪表经防爆安全栅联接。只有使用防爆安全栅的系统才是安全火花型防爆系统。当两者的距离较远时，还要采用分布参数较小的联接电缆。

1. 防爆安全栅的作用

防爆安全栅分输入式安全栅和输出式安全栅两种。图 1-4 是安全栅作用示意图。

电动仪表中的变送器、执行器、电气转换器、安全栅属安全火花防爆仪表。安全栅安装在安全场所，作为控制室仪表和现场仪表的关联设备。一方面传输信号，另一方面把流入危险场所的能量控制在爆炸性气体或混合物的点火能量以下，以确保系统的安全火花性能。安全栅起隔离危险场所和安全场所的作用。

2. 防爆安全栅的分类

从原理上讲，防爆安全栅分为电阻式、齐纳式、中继放大式和隔离变压器式。从功能上讲有输入式和输出式之分。其中隔离变压器式虽结构较复杂，但防爆性能最为理想，在系统中使用效果最好，我国普遍使用于危险场所的系统防爆。

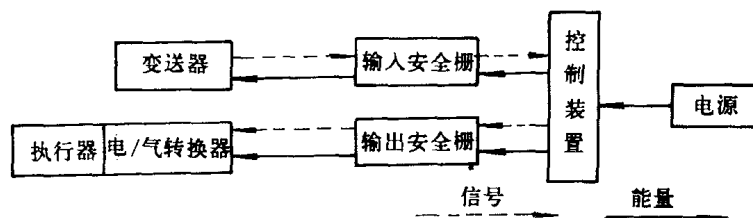


图 1-4 安全栅的作用示意图

3. 隔离变压器式安全栅

它是通过隔离、限压和限流等措施，限制流入危险场所的能量来保证安全火花性能的。其主要措施是：

隔离——对危险侧所有的设备（如变送器、执行器）与安全侧所有的设备（如显示、运算、控制仪表和计算机、电源箱等）施行严格的电气隔离，切断电源高压窜入危险侧的通道。危险侧设备与安全侧设备的一切联系（如供能、信号传递等）都是通过电磁转换方式进行的。

限能——利用符合要求的非线性特性的电路，把危险侧的电源、电压值限制在安全值以下。

总之，一方面由于隔离的结果，防止了电路可能形成的高压窜入现场的可能，同时一旦由于某种偶然事故发生，通过磁路耦合过来的能量也受到限制。

隔离式安全栅的主要指标如下：

输入信号 输入式 4~20mA, DC; 输出式 4~20mA, DC。

输出信号 输入式 1~5V, DC; 4~20mA, DC; 输出式 4~20mA, DC。

负载电阻 输入式电流输出端负载电阻 0~100Ω;

输出式负载电阻为 250~750Ω。

基本误差 输入式±0.2%; 输出式±0.5%。

防爆额定电压 220V, DC/AC。

防爆类型和等级 H II。

(1) 工作原理

输入式安全栅为二线制变送器提供电源，同时把从变送器来的 4~20mA, DC 信号成比例地转换成 4~20mA, DC 或 1~5V, DC 信号输出。输出式安全栅是将来自控制仪表的 4~20mA, DC 成比例地转换成 4~20mA, DC 输出。两者都是通过变压器、变流器隔离进行能量转换的，也都有限能器限制进入危险场所的能量。其结构和能量、信号流向如图 1-5 所示。

图中 T_1 、 T_2 作为安全侧和危险侧电气线路的电气隔离，变压器的原副边间用 0.1mm 厚的铜皮屏蔽接地，防止原边击穿时高压窜入副边，破坏安全火花性能。限能器保证在事故情况下，进入危险区的电压低于 30V, DC 的安全额定值，电流小于 30mA, DC 的安全额定值。事故消失后，限能器自动恢复正常。从图中看出，输入、输出式安全栅的信号传输系数为 1。

(2) 线路分析

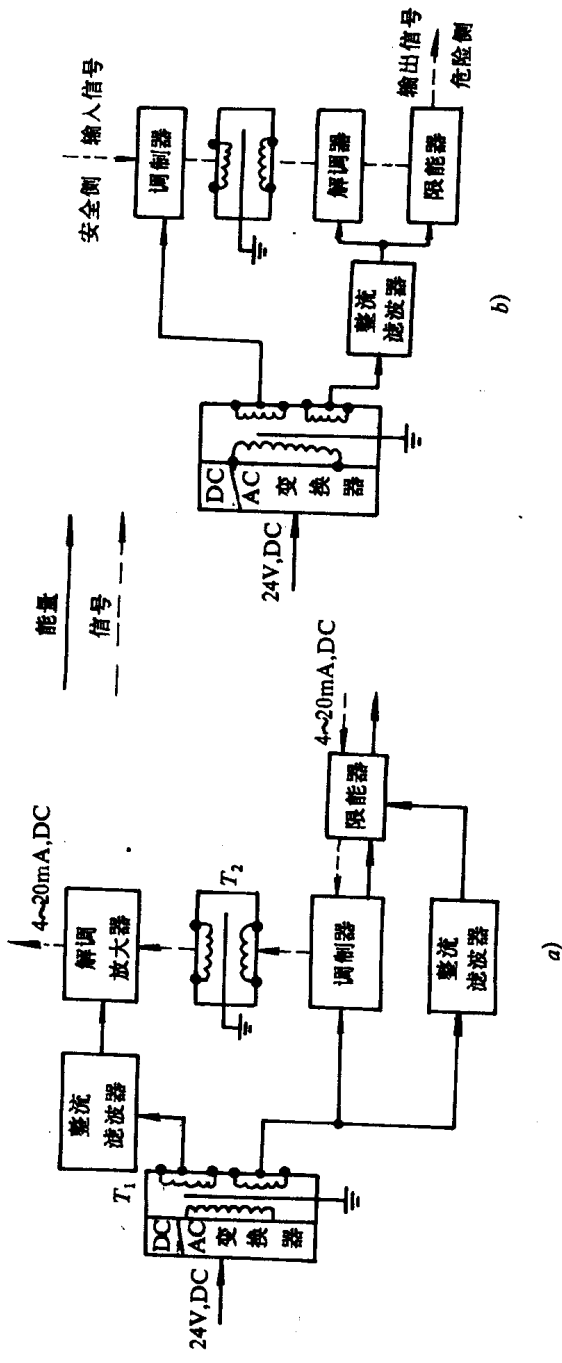


图 1-5 安全栅的工作原理图
 a) 输入式安全栅; b) 输出式安全栅

只对输入式安全栅作详细分析，给出输出式安全栅的原理电路图，请读者自行分析。

1) 调制器 在图 1-6a 中，二极管 D_5 、 D_7 、 D_9 、 D_{10} 和隔离变压器 T_2 的原边组成调制器。 T_1 变压器 4、5 端提供方波，调制器将变压器来的 4~20mA，DC 调制成交流电流，经隔离变压器 T_2 感应至解调放大器。 T_2 起电流互感器的作用，流过它的原副边的电流比为 1:1。调制电路中的电流通路是：

$$T_1(4) \rightarrow D_9 \rightarrow T_2(1) \rightarrow T_2(2) \rightarrow A \rightarrow \text{变送器} \rightarrow B \rightarrow D_7 \rightarrow T_1(5)$$

$$T_1(5) \rightarrow D_{10} \rightarrow T_2(3) \rightarrow T_2(2) \rightarrow A \rightarrow \text{变送器} \rightarrow B \rightarrow D_5 \rightarrow T_1(4)$$

从调制器电路中的电流通路可知：流过变送器的电流是直流，而流过 T_2 原边的电流是交流。需要说明的是：变送器输出的直流电流是由调制电路提供的。也就是说，本调制电路尚有整流电路的功能，给变送器提供电源 E_4 。将变送器看作变阻器，其阻值随被测参数而变化，变送器的输出电流随被测参数而变。 C_4 是整流电路的电容。

2) 解调放大器 T_2 的副边、晶体管 BG_1 、 BG_2 、 BG_3 、 BG_4 及有关电阻电容等组成解调放大器，在 T_2 副边的交流信号作用下， BG_1 、 BG_2 和 BG_3 、 BG_4 交替导通与截止，将交流变为直流，从而在 h 、 g 端所接的电流负载上有 4~20mA，DC 输出电流。在 g 、 f 端输出 1~5V，DC 电压。稳压管 DW_1 的作用是在电流输出端 h 、 g 开路时，作为输出电流 I_o 的通路。当 h 、 g 接负载时，输出电流流过负载， DW_1 截止，对输出电流没有影响。根据电流负载的阻抗值，有时需将 g - f 端短接。

在仪表电路中，为了满足仪表的某些指标，广泛使用着各种复合管。复合管的复合方法虽有区别，但分析方法基本相似。现以图 1-6a 中的 BG_1 和 BG_2 所组成的复合管为例，分析其某些参数与单管的区别。

先将复合管等效为单管，如图 1-7 所示。图中电流的对应关系是：复合管的 I_c 等于单管的 I_c ；复合管的 I_{c1} 等于单管的 I_c ；复合管的 I_{b2} 等于 I_b （单管）。

$$\begin{cases} I_{c1} = \alpha_1 I_{c1} \\ I_{c2} = \alpha_2 I_{c2} \end{cases} \quad (1-5)$$

$$\begin{cases} I_{c1} = \alpha_1 I_{c1} \\ I_{c2} = \alpha_2 I_{c2} \end{cases} \quad (1-6)$$

$$\begin{cases} I_{b1} = I_{c1}(1 - \alpha_1) - I_{cb01} \\ I_{b2} = I_{c2}(1 - \alpha_2) - I_{cb02} \end{cases} \quad (1-7)$$

$$\begin{cases} I_{b1} = I_{c1}(1 - \alpha_1) - I_{cb01} \\ I_{b2} = I_{c2}(1 - \alpha_2) - I_{cb02} \end{cases} \quad (1-8)$$

式中 α_1 、 α_2 分别为晶体管 BG_1 、 BG_2 的共基电流放大倍数，其值为小于 1 而近于 1 的常数； I_{cb01} 、 I_{cb02} 分别为 BG_1 、 BG_2 的反向漏电流。

因 $I_{c2} = I_{b1}$ ，则

$$I_{b2} = [1 - (\alpha_1 + \alpha_2 - \alpha_1\alpha_2)]I_{c1} - [(1 - \alpha_2)I_{cb01} + I_{cb02}] \quad (1-9)$$

则复合管的 I_b 为

$$I_b = [1 - (\alpha_1 + \alpha_2 - \alpha_1\alpha_2)]I_c - [(1 - \alpha_2)I_{cb01} + I_{cb02}] \quad (1-10)$$

把式 (1-10) 和式 (1-7) 比较可以看出：

- ① 复合管的电流放大倍数提高了。
- ② 只要选择较大的 α_2 和较小的 I_{cb02} 就可以使复合管的反向漏电流降低。
- ③ 总放大倍数的温标系数降低了。

$$\frac{\partial \alpha}{\partial T} = \frac{\partial(\alpha_1 + \alpha_2 - \alpha_1\alpha_2)}{\partial T} = \frac{\partial \alpha_1}{\partial T}(1 - \alpha_2) + \frac{\partial \alpha_2}{\partial T}(1 - \alpha_1)$$