



高等学校教材

控制仪表及装置

【第二版】

● 吴勤勤 主编



701

1/26
82(1)

高等学校教材

控制仪表及装置

第二版

吴勤勤 主编

化学工业出版社
教材出版中心
·北京·

(京) 新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

控制仪表及装置/吴勤勤主编. —2 版. —北京: 化学工业出版社, 2002.6

高等学校教材

ISBN 7-5025-3920-4

I. 控… II. 吴… III. 过程控制-检测仪表-高等学校-教材 IV. TP216

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 042726 号

高等学校教材
控制仪表及装置
第二版

吴勤勤 主编

责任编辑: 王丽娜

责任校对: 蒋宇

封面设计: 于兵

*

化学工业出版社 出版发行
教材出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话: (010) 64982530

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

北京市彩桥印刷厂印刷

三河市前程装订厂装订

开本 787×1092 毫米 1/16 印张 19¹/₄ 字数 478 千字

2002 年 8 月第 2 版 2002 年 8 月北京第 4 次印刷

ISBN 7-5025-3920-4/G·1071

定 价: 30.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

前 言

本书是在 1997 年出版的高等学校教材《控制仪表及装置》基础上，为适应自动化技术迅速发展的形势而修订的。

《控制仪表及装置》共分两篇。第一篇为模拟式控制仪表及装置，主要阐述模拟调节器、变送器、转换器、运算器和执行器；第二篇为数字式控制仪表及装置，主要阐述可编程调节器、可编程控制器、智能变送器、集散控制系统和现场总线控制系统。本书对 1997 年版教材作了适当的增删，对模拟变送器、执行器、可编程调节器与控制器、智能变送器、集散系统的内容作了精简、更新或补充，并增加了现场总线控制系统一章，以满足自动化和仪表类专业的教学要求。

本教材强调仪表的构成原理和分析方法，注重理论联系实际，注意引入最新仪表技术和研究成果，力求在内容上反映自动化仪表的先进水平。

修订工作由吴勤勤负责。参加教材修订的有吴勤勤（概论、第三章、第四章、第六章、第八章），周振环（第一章、第五章），姜捷（第七章），马欣（第二章）。

全书由东华大学王士杰教授审阅。在本书修订过程中，上海工业自动化仪表研究所、上海自动化仪表股份有限公司、上海威尔泰工业自动化股份有限公司、浙大中控技术有限公司、上海费希尔-罗斯蒙特公司、上海恩德斯-豪斯公司等单位提供了部分资料。

修订工作还得到了中国自动化学会仪表与装置专业委员会、中国仪器仪表学会过程检测控制仪表分会以及吴斌昌、彭瑜、缪学勤、沈国彦、刘铁椎等高级工程师的关心和支持。对此谨致以深切的谢意。

由于编者水平有限，时间仓促，书中难免存在缺点和错误，恳请读者批评指正。

编 者

2002 年 5 月

目 录

概论	1
第一节 控制仪表与控制系统	1
第二节 控制仪表及装置的分类	1
第三节 联络信号和传输方式	3
第四节 安全防爆的基本知识和防爆措施	5
思考题与习题	9

第一篇 模拟式控制仪表及装置

第一章 模拟调节器	10
第一节 调节器的运算规律和构成方式	10
一、概述	10
二、PID调节器的运算规律	11
三、PID调节器的构成	16
第二节 基型调节器	18
一、概述	18
二、输入电路	19
三、PD电路	20
四、PI电路	22
五、PID电路传递函数	24
六、输出电路	26
七、手动操作电路	27
八、指示电路	29
第三节 特种调节器和附加单元	31
一、特种调节器	31
二、附加单元	36
思考题与习题	38
第二章 变送器和转换器	39
第一节 变送器的构成	39
一、构成原理	39
二、量程调整、零点调整和零点迁移	40
第二节 差压变送器	40
一、力平衡式差压变送器	41
二、电容式差压变送器	49
三、扩散硅式差压变送器	58
第三节 温度变送器	59
一、四线制温度变送器	59
二、两线制温度变送器	74

第四节 电/气转换器	75
一、概述	75
二、气动仪表的基本元件	75
三、电/气转换器工作原理	77
思考题与习题	78
第三章 运算器和执行器	80
第一节 运算器	80
一、乘除器	80
二、开方器	92
第二节 执行器	96
一、电动执行机构	96
二、气动执行机构	101
三、调节机构	105
四、执行器的选型	119
第三节 模拟控制仪表的应用	123
一、控制方案的拟定与仪表选择	123
二、控制系统构成举例	124
三、仪表静态配合系数的确定	125
思考题与习题	126

第二篇 数字式控制仪表及装置

第四章 可编程调节器	127
第一节 概述	127
一、可编程调节器的特点	127
二、基本构成	128
第二节 KMM 可编程调节器	135
一、组成	135
二、功能	137
三、编程方法和仪表投入	155
四、应用举例	163
思考题与习题	169
第五章 可编程控制器	170
第一节 概述	170
一、可编程控制器的特点	170
二、基本构成和工作过程	170
三、编程语言	171
第二节 FX 系列可编程控制器	172
一、组成	173
二、PC 指令和编程方法	179
三、应用举例	203
第三节 S7 系列可编程控制器	207
一、组成	208

二、编程语言和程序结构	209
三、编程举例	219
思考题与习题	220
第六章 智能变送器	221
第一节 概述	221
一、智能变送器的特点	221
二、智能变送器的组成	221
第二节 智能差压变送器	221
一、3051C 差压变送器	221
二、MV2010T 差压变送器	224
第三节 智能温度变送器	225
一、STT3000 温度变送器	225
二、3244MVF 温度变送器	226
思考题与习题	227
第七章 集散控制系统	228
第一节 集散控制系统概述	228
一、集散系统的发展历程	228
二、集散系统的特点	229
三、集散系统的结构	229
第二节 集散控制系统通信网络	230
一、局域网概述	230
二、集散系统通信网络的特点	233
三、集散系统的网络通信标准	234
第三节 TDC-3000 集散系统	234
一、系统基本组成	235
二、系统结构与各层功能	236
三、TDC-3000 软件组态	249
第四节 集散系统可靠性	267
一、可靠性指标	267
二、提高系统可靠性的措施	268
思考题与习题	270
第八章 现场总线控制系统	271
第一节 现场总线概述	271
一、现场总线发展背景	271
二、现场总线的技术特点	272
三、现场总线国际标准	273
第二节 几种流行的现场总线	275
一、Foundation Fieldbus	275
二、Profibus	278
三、Lon Works	281

四、CAN	283
五、DeviceNet	285
六、HART	286
七、工业以太网.....	287
第三节 现场总线控制系统.....	290
一、现场总线控制系统组成.....	290
二、现场总线控制系统实例.....	293
思考题与习题.....	297
附录 本书主要符号说明.....	298
主要参考资料.....	299

概 论

第一节 控制仪表与控制系统

控制仪表是实现生产过程自动化的重要技术工具。在自动控制系统中，检测仪表将被控变量转换成测量信号后，还需送控制仪表，以便控制生产过程的正常进行，使被控变量达到预期的要求。

这里所指的控制仪表包括：在自动控制系统中广泛使用的调节器、变送器、运算器、执行器等，以及新型控制仪表及装置。

图 0-1 表示了由控制仪表与控制对象组成的简单控制系统。图中控制对象代表生产过程中的某个环节，控制对象输出的是被控变量，如压力、流量、温度等工艺变量。这些被控变量首先由检测元件变换为易于传递的物理量，再经变送器转换成相应的电信号。该信号送到调节器中，与给定值相比较。调节器按照比较后得出的偏差，以一定的调节规律发出控制信号，控制执行器的动作，改变被控介质物料或能量的大小，直至被控变量与给定值相等为止。

一个控制系统除了图中表示的几种控制仪表以外，还可根据需要设置转换器、操作器、运算显示装置和各种仪表系统，以完成复杂的控制任务。

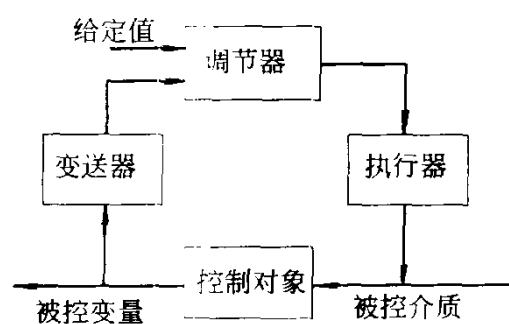


图 0-1 由控制仪表与控制对象组成的简单控制系统方框图

第二节 控制仪表及装置的分类

控制仪表及装置可按能源形式、信号类型和结构形式来分类。

一、按能源形式分类

可分为气动、电动、液动等几类。工业上通常使用气动控制仪表和电动控制仪表。

气动控制仪表的发展和应用已有数十年的历史，20 世纪 40 年代起就已广泛应用于工业生产。它的特点是结构简单、性能稳定、可靠性高、价格便宜，且在本质上是安全防爆的，特别适用于石油、化工等有爆炸危险的场所。

电动控制仪表的出现要晚些，但由于其信号传输、放大、变换处理比气动仪表容易得多，又便于实现远距离监视和操作，还易于与计算机等现代化技术工具联用，因而这类仪表的应用更为广泛。电动控制仪表的防爆问题，由于采取了安全火花防爆措施，也得到了很好的解决，它同样能应用于易燃易爆的危险场所。鉴于电动控制仪表及装置的迅速发展与大量使用，本教材予以重点介绍。

二、按信号类型分类

可分为模拟式和数字式两大类。

模拟式控制仪表的传输信号通常为连续变化的模拟量。这类仪表线路较简单，操作方便，价格较低，在中国已经历多次升级换代，在设计、制造、使用上均有较成熟的经验。长期以来，它广泛地应用于各工业部门。

数字式控制仪表的传输信号通常为断续变化的数字量。近 20 年来，随着微电子技术、计算机技术和网络通信技术的迅速发展，数字式控制仪表和新型计算机控制装置相继问世，并越来越多地应用于生产过程自动化中。这些仪表和装置是以微型计算机为核心，其功能完善，性能优越，它能解决模拟式仪表难以解决的问题，满足现代化生产过程的高质量控制要求。

三、按结构形式分类

可分为基地式控制仪表、单元组合式控制仪表、组装式综合控制装置、集散控制系统以及现场总线控制系统。

基地式控制仪表是以指示、记录仪表为主体，附加控制机构而组成。它不仅对某变量进行指示或记录，还具有控制功能。基地式仪表一般结构比较简单，常用于单机自动化系统。

单元组合式控制仪表是根据控制系统中各个组成环节的不同功能和使用要求，将整套仪表划分成能独立实现某种功能的若干单元，各单元之间用统一的标准信号来联系。将这些单元进行不同的组合，可构成多种多样的、复杂程度各异的自动检测和控制系统。

中国生产的电动单元组合仪表(DDZ)和气动单元组合仪表(QDZ)经历了 I 型、II 型、III 型三个发展阶段，以后又推出了较为先进的数字化的 DDZ-S 系列仪表。这类仪表使用灵活，通用性强，适用于中、小型企业的自动化系统。过去的数十年，单元组合仪表在实现中国中、小型企业的生产过程自动化中，发挥了重要作用。

组装式综合控制装置是在单元组合仪表的基础上发展起来的一种功能分离、结构组件化的成套仪表装置。该装置以模拟器件为主，兼用了模拟技术和数字技术。它包括控制机柜和显示操作盘两部分，控制机柜的组件箱内插有若干功能组件板，且采用高密度安装，结构十分紧凑。工作人员利用屏幕显示、操作装置实现对生产过程的集中显示和操作。

集散控制系统(DCS)是以微型计算机为核心，在控制技术(Control)、计算机技术(Computer)、通信技术(Communication)、屏幕显示技术(CRT)等四“C”技术迅速发展的基础上研制成的一种计算机控制装置。它的特点是分散控制、集中管理。

“分散”指的是由多台专用微机(例如集散控制系统中的基本控制器或其他现场级数字式控制仪表)分散地控制各个回路，这可使系统运行安全可靠。将各台专用微机或现场级控制仪表用通信电缆同上一级计算机和显示、操作装置相连，便组成分散控制系统。“集中”则是集中监视、集中操作和管理整个生产过程。这些功能由上一级的监控、管理计算机和显示操作站来完成。

在工业上使用较多的数字控制仪表有可编程调节器和可编程控制器。可编程调节器的外形结构、面板布置保留了模拟式仪表的一些特征，但其运算、控制功能更为丰富，通过组态可完成各种运算处理和复杂控制。可编程控制器以开关量控制为主，也可实现对模拟量的控制，并具备反馈控制功能和数据处理能力。它具有多种功能模块，配接方便。这两类控制仪表均有通信接口，可和计算机配合使用，以构成不同规模的分级控制系统。

现场总线控制系统(FCS)是 20 世纪 90 年代发展起来的新一代工业控制系统。它是计算机网络技术、通信技术、控制技术和现代仪器仪表技术的最新发展成果。现场总线的出现引起了传统控制系统结构和设备的根本性变革，它将具有数字通信能力的现场智能仪表连成网络系统，并同上一层监控级、管理级联系起来成为全分布式的新型控制网络。

现场总线控制系统的基本特征是其结构的网络化和全分散性，系统的开放性，现场仪表

的互可操作性和功能自治性，以及对环境的适应性。FCS无论在性能上或功能上均比传统控制系统更优越，随着现场总线技术的不断完善，FCS将越来越多地应用于工业自动化系统中，并将逐步取代传统的控制系统。

第三节 联络信号和传输方式

一、联络信号

在成套仪表系列中，仪表之间应由统一的联络信号来进行信号传输。采用统一的联络信号，不仅可使同一系列的各类仪表组成系统，而且还可以通过各种转换器，将不同系列的仪表连接起来，混合使用，从而扩大了仪表的应用范围。此外，由于各种变量被转换为统一信号，因此各类仪表同工业控制机等先进技术工具配合使用，也较为方便。

(一) 联络信号的类型

控制仪表和装置常使用以下几种联络信号：

对于气动控制仪表，国际上已统一使用 20~100kPa 气压信号，作为仪表之间的联络信号。

对于电动控制仪表，其联络信号常见的有模拟信号、数字信号、频率信号等。

模拟信号和数字信号是自动化仪表及装置所采用的主要联络信号。本节着重讨论电模拟信号，数字信号将在第二篇有关章节中另作说明。

(二) 电模拟信号制的确定

电模拟信号有交流和直流两种。由于直流信号具有不受线路中电感、电容及负载性质的影响，不存在相移问题等优点，故世界各国都以直流电流或直流电压作为统一联络信号。

从信号取值范围看，下限值可以从零开始，也可以从某一确定的数值开始；上限值可以较低，也可以较高。取值范围的确定，应从仪表的性能和经济性作全面考虑。

不同的仪表系列，所取信号的上、下限值是不同的。例如 DDZ-II 型仪表采用 0~10mA 直流电流作为统一联络信号；DDZ-III 型仪表采用 4~20mA 直流电流和 1~5V 直流电压作为统一联络信号；有些仪表则采用 0~5V 或 0~10V 直流电压作为联络信号，并在装置中考虑了电压信号与电流信号的相互转换问题。

信号下限从零开始，便于模拟量的加、减、乘、除、开方等数学运算和使用通用刻度的指示、记录仪表；信号下限从某一确定值开始，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，并为现场变送器实现两线制提供了可能性。

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

在对各种电模拟信号作了综合比较之后，国际电工委员会(IEC)将电流信号 4~20mA (DC)和电压信号 1~5V (DC)，确定为过程控制系统电模拟信号的统一标准。

二、电信号传输方式

(一) 模拟信号的传输

信号传输指的是电流信号和电压信号的传输。电流信号传输时，仪表是串联连接的；而电压信号传输时，仪表是并联连接的。

1. 电流信号传输

如图 0-2 所示，一台发送仪表的输出电流同时传输给几台接收仪表，所有这些仪表应当

串接。DDZ-II 仪表即属于这种传输方式。图中， R_o 为发送仪表的输出电阻。 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（假定接收仪表的输入电阻均为 R_i ），由 R_{cm} 和 R_i 组成发送仪表的负载电阻。

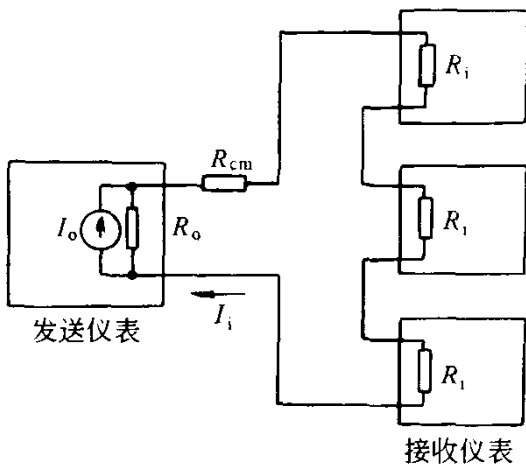


图 0-2 电流信号传输时
仪表之间的连接

由于发送仪表的输出电阻 R_o 不可能是无限大，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。

电流信号的传输误差可用公式表示为

$$\begin{aligned} \epsilon &= \frac{I_o - I_i}{I_o} = \frac{I_o - \frac{R_o}{R_o + (R_{cm} + nR_i)} \cdot I_o}{I_o} \\ &= \frac{R_{cm} + nR_i}{R_o + R_{cm} + nR_i} \times 100\% \quad (0-1) \end{aligned}$$

式中 n ——接收仪表的个数。

为保证传输误差 ϵ 在允许范围之内，应要求 $R_o \gg R_{cm} + nR_i$ ，故有

$$\epsilon \approx \frac{R_{cm} + nR_i}{R_o} \times 100\% \quad (0-2)$$

由式 (0-2) 可见，为减小传输误差，要求发送仪表的 R_o 足够大，而接收仪表的 R_i 及导线电阻 R_{cm} 应比较小。

实际上，发送仪表的输出电阻均很大，相当于一个恒流源，连接导线的长度在一定范围内变化时，仍能保证信号的传输精度，因此电流信号适于远距离传输。此外，对于要求电压输入的仪表，可在电流回路中串入一个电阻，从电阻两端引出电压，供给接收仪表，所以电流信号应用也较灵活。

电流传输也有不足之处。由于接收仪表是串联工作的，当一台仪表出故障时，将影响其他仪表的工作。而且各台接收仪表一般皆应浮空工作。若要使各台仪表皆有自己的接地点，则应在仪表的输入、输出之间采取直流隔离措施。这就对仪表的设计和应用在技术上提出了更高的要求。

2. 电压信号传输

一台发送仪表的输出电压要同时传输给几台接收仪表时，这些接收仪表应当并联，如图 0-3 所示。DDZ-III 型仪表即属于这种传输方式。

由于接收仪表的输入电阻 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_{cm} 上产生一部分电压降，从而造成传输误差。

电压信号的传输误差可用如下公式表示

$$\begin{aligned} \epsilon &= \frac{U_o - U_i}{U_o} = \frac{U_o - \frac{\frac{R_i}{n}}{R_o + R_{cm} + \frac{R_i}{n}} \cdot U_o}{U_o} = \frac{R_o + R_{cm}}{R_o + R_{cm} + \frac{R_i}{n}} \times 100\% \quad (0-3) \end{aligned}$$

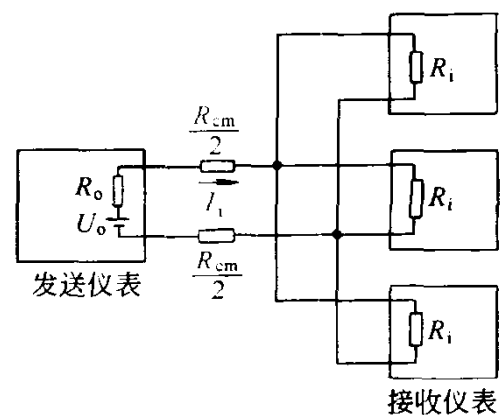


图 0-3 电压信号传输
时仪表之间的连接

为减小传输误差 ϵ ，应满足 $\frac{R_i}{n} \gg R_o + R_{cm}$ ，故有

$$\epsilon \approx n \cdot \frac{R_o + R_{cm}}{R_i} \times 100\% \quad (0-4)$$

式中 n ——接收仪表的个数。

由式 (0-4) 可见，为减小传输误差，应使发送仪表内阻 R_o 及导线电阻 R_{cm} 尽量小，同时要求接收仪表的输入电阻 R_i 大些。

因接收仪表是并联连接的，增加或取消某个仪表不会影响其他仪表的工作，而且这些仪表也可设置公共接地点，因此设计安装比较简单。但并联连接的各接收仪表，输入电阻皆较高，易于引入干扰，故电压信号不适于作远距离传输。

(二) 变送器与控制室仪表间的信号传输

变送器是现场仪表，其输出信号送至控制室中，而它的供电又来自控制室。变送器的信号传送和供电方式通常有如下两种。

1. 四线制传输

供电电源和输出信号分别用两根导线传输，如图 0-4 所示。图中的变送器称为四线制变送器，目前使用的大多数变送器均是这种形式。由于电源与信号分别传送，因此对电流信号的零点及元器件的功耗无严格要求。

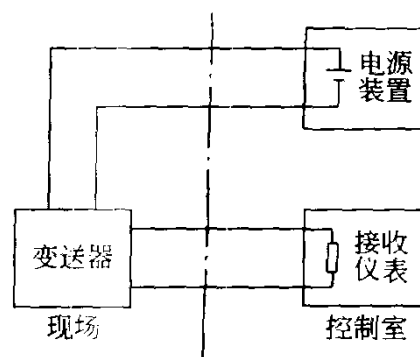


图 0-4 四线制传输

2. 两线制传输

变送器与控制室之间仅用两根导线传输。这两根导线既是电源线，又是信号线，如图 0-5 所示。图中的变送器称为两线制变送器。

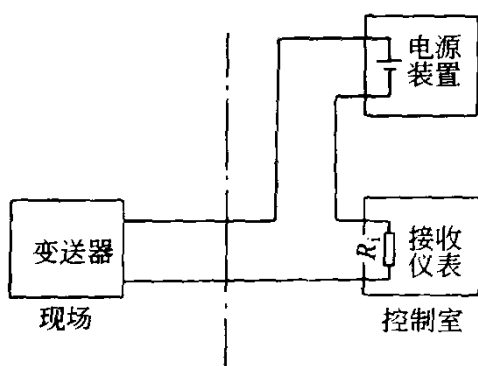


图 0-5 两线制传输

采用两线制变送器不仅可节省大量电缆线和安装费用，而且有利于安全防爆。因此这种变送器得到了较快的发展。

要实现两线制变送器，必须采用活零点的电流信号。由于电源线和信号线公用，电源供给变送器的功率是通过信号电流提供的。在变送器输出电流为下限值时，应保证它内部的半导体器件仍能正常工作。因此，信号电流的下限值不能过低。国际统一电流信号采用 4~20mA (DC)，为制作两线制变送器创造了条件。

第四节 安全防爆的基本知识和防爆措施

一、安全防爆的基本知识

在石油、化工等工业部门中，某些生产场所存在着易燃易爆的固体粉尘、气体或蒸气，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。安装在这些场所的检测仪表和执行器如果产生的火花或热效应能量能点燃危险混合物，则会引起火灾或爆炸。

(一) 爆炸危险场所的分类、分级

爆炸危险场所按爆炸性物质的物态，分为气体爆炸危险场所和粉尘爆炸危险场所两类。

1. 气体爆炸危险场所的区域等级

根据爆炸性气体混合物出现的频繁程度和持续时间分为以下三个区域等级。

(1) 0 级区域 在正常情况下，爆炸性气体混合物连续地、频繁地出现或长时间存在的场所。

(2) 1级区域 在正常情况下,爆炸性气体混合物有可能出现的场所。

(3) 2级区域 在正常情况下,爆炸性气体混合物不能出现,仅在不正常情况下偶尔或短时间出现的场所。

2. 粉尘爆炸危险场所的区域等级

根据爆炸性粉尘或可燃纤维与空气混合物出现的频繁程度和持续时间分为以下两个区域等级。

(1) 10级区域 在正常情况下,爆炸性粉尘或可燃纤维与空气的混合物可能连续地、频繁地出现或长时间存在的场所。

(2) 11级区域 在正常情况下,爆炸性粉尘或可燃纤维与空气的混合物不能出现,仅在不正常情况下偶尔短时间出现的场所。

不同的等级区域对防爆电气设备选型有不同的要求,例如0级区域(或10级区域)要求选用本质安全型电气设备;1级区域选用隔爆型、增安型等电气设备。

(二) 爆炸性物质的分级、分组

1. 爆炸性气体、蒸气的分级

(1) 按最大试验安全间隙分级 在规定的标准试验条件下,火焰不能传播的最大间隙称为最大试验安全间隙(MESG)。按爆炸性气体、蒸气的最大试验安全间隙可分为以下几级:

MESG=1.14mm, 为甲烷, 作为起始点, 无级;

$0.9 < \text{MESG} < 1.14\text{mm}$, 为A级;

$0.5 < \text{MESG} \leq 0.9\text{mm}$, 为B级;

$\text{MESG} \leq 0.5\text{mm}$, 为C级。

(2) 按最小点燃电流比分级 在规定的标准试验条件下,调节最小点燃电流,以甲烷的最小点燃电流为标准,定为1.0,其他物质的最小点燃电流与之比较,得出最小点燃电流比(MICR)为某物质的最小点燃电流比=某物质的最小点燃电流/甲烷最小点燃电流

按爆炸性气体、蒸气的最小点燃电流比,可分为以下几级:

MICR=1.0, 为甲烷, 作为起始点, 无级;

$0.8 < \text{MICR} < 1.0$, 为A级;

$0.45 < \text{MICR} \leq 0.8$, 为B级;

$\text{MICR} \leq 0.45$, 为C级。

由上可见,爆炸性气体、蒸气的最大安全间隙越小,最小点燃电流也越小。按最小点燃电流比分级与按最大安全间隙分级,两者结果是相似的。

2. 爆炸性粉尘的分级

爆炸性粉尘的分级是按粉尘的物理性质划分的。其方法是:把非导电性的可燃粉尘与非导电性的可燃纤维列为A级;把导电性的爆炸性粉尘与火药、炸药粉尘列为B级;没有C级。

3. 爆炸性物质的分组

爆炸性物质按引燃温度分组。在没有明火源的条件下,不同物质加热引燃所需的温度是不同的,因为自燃点各不相同。按引燃温度可分为六组,见表0-1。

表 0-1 引燃温度与组别划分

组 别	T_1	T_2	T_3	T_4	T_5	T_6
引燃温度 $t/^\circ\text{C}$	>450	$450 \geq t > 300$	$300 \geq t > 200$	$200 \geq t > 135$	$135 \geq t > 100$	$100 \geq t > 85$

用于不同组别的防爆电气设备,其表面允许最高温度各不相同,不可随便混用。例如适

用于 T_5 的防爆电气设备可以适用于 $T_1 \sim T_4$ 各组，但是不适用于 T_6 ，因为 T_6 的引燃温度比 T_5 组低，可能被 T_5 组适用的防爆电气设备的表面温度所引燃。

(三) 电气设备的防爆等级

电气设备的防爆等级常用的有以下三种。

(1) 本质安全型(i) 本质安全型电气设备的全部电路均为本质安全电路（正常工作或规定的故障状态下产生的电火花和热效应均不能点燃爆炸性混合物的电路），它可分为 i_a 和 i_b 两个等级：在正常工作、一个故障和两个故障时均不能点燃爆炸性气体混合物的电气设备，为 i_a 等级；在正常工作和一个故障时不能点燃爆炸性气体混合物的电气设备，为 i_b 等级。

(2) 隔爆型(d) 隔爆型电气设备具有隔爆外壳。该外壳能承受内部爆炸性气体混合物的爆炸压力，并阻止内部的爆炸向外壳周围爆炸性混合物传播。

(3) 增安型(e) 增安型电气设备是指采取措施提高安全程度，以避免在正常和认可的过载条件下产生电弧、火花或危险温度的电气设备。

控制仪表使用的防爆等级主要是本质安全型和隔爆型。

二、本质安全型防爆仪表和防爆系统

按电气设备防爆等级的定义，本质安全型防爆仪表（简称本安仪表）在正常工作或故障状态下产生的火花及达到的温度均不足以引燃周围的爆炸性混合物。此类仪表有本安型的差压变送器、温度变送器、电-气转换器、电-气阀门定位器以及安全栅等。

本质安全防爆系统如图 0-6 所示，它不仅危险场所使用本安仪表，而且在控制室仪表与危险场所仪表之间设置了安全栅，这样构成的系统就能实现本质安全防爆的要求。

如果上述系统中不采用安全栅，而由分电盘代替，分电盘只能起信号隔离作用，不能限压、限流，故该系统已不再是本质安全防爆系统了。

应当指出，有了安全栅，但若在图 0-6 中的某个现场仪表不是本安仪表，则该系统也不能保证本质安全的防爆要求。

三、安全栅

安全栅作为控制室仪表和现场仪表的关联设备，一方面传输信号，另一方面控制流入危险场所的能量在爆炸气体或混合物的点火能量以下，以保证系统的本安防爆性能。

安全栅的构成形式有以下五种。

(一) 电阻式安全栅

电阻式安全栅是利用电阻的限流作用，把流入危险场所（危险侧）的能量限制在临界值以下，从而达到防爆的目的，如图 0-7 所示。

图中 R 为限流电阻，当回路的任何一外发生

短路或接地事故，由于 R 的作用，使电流得到限制。电阻式安全栅具有简单、可靠、价廉的优点，但防爆额定电压低。在同一表盘若有超过其防爆额定电压值的配线时，必须分管

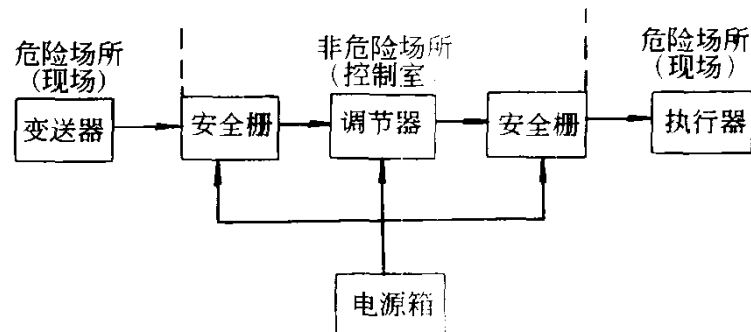


图 0-6 本质安全防爆系统

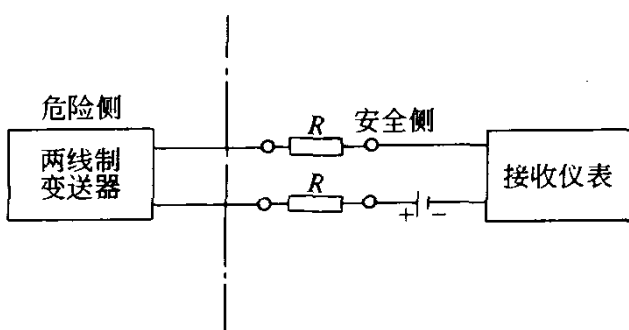


图 0-7 电阻式安全栅

安装，以防混触。此外，每个安全栅的限流电阻要逐个计算，数值太大会影响回路的原有性能，太小了又达不到防爆要求，故应取合适的数值。

(二) 齐纳式安全栅

齐纳式安全栅是基于齐纳二极管反向击穿性能而工作的。其原理如图 0-8 所示。

图中 VZ_1 、 VZ_2 为齐纳二极管， R 和 FU 分别为限流电阻和快速熔断丝。在正常工作时，安全栅不起作用。

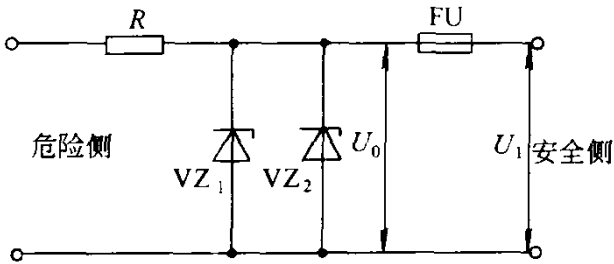


图 0-8 齐纳式安全栅

当现场发生事故，如形成短路时，由 R 限制过大电流进入危险侧，以保证现场安全。当安全栅端电压 U_1 高于额定电压 U_0 时，齐纳二极管击穿，进入危险侧的电压将被限制在 U_0 值上。同时，安全侧电流急剧增大，使 FU 很快熔断，从而使高电压与现场隔离，也保护了齐纳二极管。

齐纳式安全栅结构简单、经济、可靠、通用性强，而且防爆额定电压可以做得较高。但是作为这种安全栅关键元件的快速熔断丝，制作比较困难，工艺和材料要求都很高。

(三) 中继放大器式安全栅

这种安全栅是利用放大器的高输入阻抗性能来实现安全火花防爆的，其原理如图 0-9 所示。

变送器的输出电流流经 R_L 变为电压信号，此信号再通过中继放大器放大后送至接收仪表。放大器的输入阻抗可达 $10M\Omega$ 以上，因此可将限流电阻 R 的阻值增大到 $10k\Omega$ ，从而提高了防爆额定电压。这种安全栅的通用性强，可和计算机、显示仪表等连接。其缺点是线路较复杂，价格较高，而且因线路中设置放大器而带来附加误差。

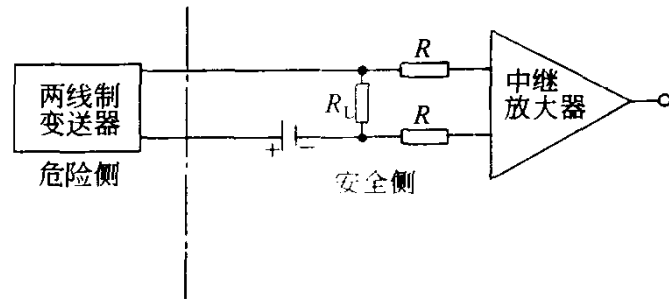


图 0-9 中继放大器式安全栅

(四) 光电隔离式安全栅

光电隔离式安全栅是利用光电耦合器的隔离作用，使其输入与输出之间没有直接电或磁的联系，这就切断了安全栅输出端高电压窜入危险侧的通道。同时，在变送器的供电回路中，设置了电压电流限制电路，将危险侧的电压、电流值限制在安全定额以内，从而实现了安全火花防爆的要求。电路原理如图 0-10 所示。

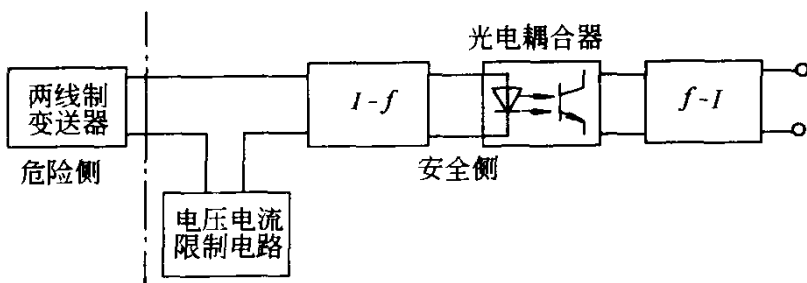


图 0-10 光电隔离式安全栅

安全栅采用逻辑型光电耦合器，这种器件具有很高的绝缘电压。它通过内部的发光二极管和光敏三极管，以光电转换形式传输频率信号，为此，电路中设置了 $I-f$ 和 $f-I$ 转换器。 $I-f$ 转换器将变送器的输出电流转换为 $1\sim 5kHz$ 的频率信号，此信号通过光电耦合再由 $f-I$ 转换成直流电流信号。

光电隔离式安全栅是一种理想的能适用于任何危险场所的安全栅，它工作可靠，防爆额定电压高，但结构较复杂。如能提供精度高、成本低的线性型光电耦合器，取代逻辑型器件，则可直接传输变送器的输出电流，而不必使用 $I-f$ 和 $f-I$ 转换器。

(五) 变压器隔离式安全栅

这种安全栅也是通过隔离、限压和限流等措施，限制流入危险场所的能量，来保证安全防爆性能的。它与光电隔离式安全栅的区别是用变压器作为隔离器件，通过电磁转换方式来传输信号。

变压器隔离式安全栅的线路也复杂，但它并不要求什么特殊元件，可靠性高，防爆额定电压也高，所以目前国产隔离式安全栅选择了变压器隔离的形式。电路原理如图0-11所示。

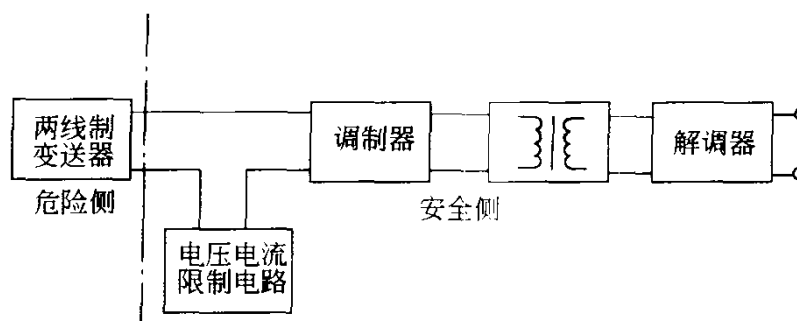


图 0-11 变压器隔离式安全栅

思考题与习题

- 0-1 控制仪表与装置采用何种信号进行联络？电压信号传输和电流信号传输各有什么特点？使用在何种场合？
- 0-2 说明现场仪表与控制室仪表之间的信号传输及供电方式。0~10mA 的直流电流信号能否用于两线制传输方式？为什么？
- 0-3 什么是本质安全型防爆仪表，如何构成本质安全防爆系统？
- 0-4 安全栅有哪几种？它们是如何实现本质安全防爆的？