



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

控制仪表及装置

第四版

吴勤勤 主编



化学工业出版社

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

控制仪表及装置

第四版

吴勤勤 主编



化学工业出版社

·北京·

本书详细介绍了模拟式控制仪表及装置（模拟式控制器、变送器和转换器、运算器和执行器等）以及数字式控制仪表及装置（可编程调节器、可编程控制器、智能变送器和阀门定位器、集散控制系统和现场总线控制系统等）的功能特点、结构原理和使用方法。

本书是第三次修订，在内容上引入最新仪表技术，反映了当代自动化仪表的先进水平。

为便于读者自学，各章还附有思考题与习题。

本书可作为高等院校自动化、测控技术及仪器等相关专业及工矿企业职业教育的教材，也可供相关技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

控制仪表及装置/吴勤勤主编. —4 版. —北京: 化学工业出版社, 2012.7
普通高等教育“十一五”国家级规划教材
ISBN 978-7-122-14510-9

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 (2012) 第 123890 号

责任编辑: 郝英华

装帧设计: 杨 北

责任校对: 陈 静

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 刷: 北京永鑫印刷有限责任公司

装 订: 三河市万龙印装有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张 19½ 字数 484 千字 2013 年 1 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: 34.80 元

版权所有 违者必究

前 言

本书是在 2007 年出版的《控制仪表及装置》(第三版)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》以电子技术、微机原理、控制工程和计算机网络技术为基础,系统地阐述仪表与装置的结构、特点、功能和应用。全书共分两篇:第一篇为模拟式控制仪表及装置,主要介绍模拟式控制器、变送器和转换器、运算器和执行器;第二篇为数字式控制仪表及装置,主要介绍可编程调节器、可编程控制器、智能变送器和阀门定位器、集散控制系统和现场总线控制系统。

新版教材对前一版作了适当的增删,主要对概论、变送器、执行器、数字式控制器和现场总线控制系统的内容予以精简、更新和补充,以满足自动化和仪表类专业的教学要求。

本书强调仪表的构成原理和分析方法,突出重点、抓住典型,注重理论联系实际,并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,第一~五章、第八章第四、五节),凌志浩(第八章),刘笛(第七章),赵菡(第六章)。

参加前版教材编写和修订工作的还有张雪申、周振环、姜捷和马欣。

在本书修订过程中,上海工业自动化仪表研究院、上海自动化仪表股份有限公司、浙江中控技术有限公司、西门子(中国)有限公司、霍尼威尔(中国)有限公司、艾默生过程管理有限公司、上海恩德斯豪斯自动化设备有限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以及彭瑜、范铠、缪学勤、沈国彦、邱宣振等高级工程师的支持和帮助。对此深表谢意。

由于编者水平有限,时间仓促,书中难免存在不足之处,恳请读者批评指正。

编 者

2012 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
一、按能源形式分类	2
二、按信号类型分类	2
三、按结构形式分类	2
第三节 联络信号和传输方式	3
一、联络信号	3
二、电信号传输方式	4
第四节 安全防爆的基本知识和防爆措施	6
一、安全防爆的基本知识	6
二、防爆型控制仪表	8
三、控制系统的防爆措施	9
思考题与习题	10

第一篇 模拟式控制仪表及装置

第一章 模拟式控制器	12
第一节 控制器的运算规律和构成方式	12
一、概述	12
二、PID控制器的运算规律	12
三、PID控制器的构成	18
第二节 基型控制器	20
一、概述	20
二、输入电路	21
三、PD电路	22
四、PI电路	24
五、PID电路传递函数	26
六、输出电路	27
七、手动操作电路	28
八、指示电路	30
第三节 特种控制器和附加单元	32
一、特种控制器	32
二、附加单元	37
思考题与习题	39

第二章 变送器和转换器	41
第一节 变送器的构成	41
一、构成原理	41
二、量程调整、零点调整和零点迁移	42
第二节 差压变送器	43
一、力平衡式差压变送器	43
二、电容式差压变送器	51
三、扩散硅式差压变送器	60
第三节 温度变送器	61
一、四线制温度变送器	62
二、两线制温度变送器	76
第四节 电/气转换器	77
一、概述	77
二、气动仪表的基本元件	77
三、电/气转换器工作原理和结构	79
思考题与习题	81
第三章 运算器和执行器	82
第一节 运算器	82
一、乘除器	82
二、开方器	94
第二节 执行器	98
一、电动执行机构	98
二、气动执行机构	102
三、阀门定位器	105
四、调节机构	106
五、执行器的选择	120
第三节 模拟式控制仪表的应用	124
一、控制方案的拟定与仪表选择	124
二、控制系统构成举例	125
三、仪表静态配合系数的确定	126
思考题与习题	127

第二篇 数字式控制仪表及装置

第四章 数字式控制器之一——可编程调节器	130
第一节 概述	130
一、可编程调节器的特点	130
二、基本构成	131
第二节 KMM 可编程调节器	137
一、组成	138
二、功能	139

三、编程方法和仪表投入	155
四、应用举例	157
思考题与习题	159
第五章 数字式控制器之二——可编程控制器	161
第一节 概述	161
一、可编程控制器的特点	161
二、基本构成与工作过程	162
三、编程语言	163
第二节 FX 系列可编程控制器	164
一、组成	165
二、指令表和编程方法	170
三、应用举例	193
第三节 S7 系列可编程控制器	197
一、组成	197
二、编程语言和程序结构	198
三、编程举例	207
思考题与习题	208
第六章 智能变送器和阀门定位器	210
第一节 智能变送器	210
一、概述	210
二、智能差压变送器	211
三、智能温度变送器	215
第二节 智能阀门定位器	217
一、概述	217
二、SIPART PS2 智能阀门定位器	217
思考题与习题	218
第七章 集散控制系统	220
第一节 概述	220
一、集散控制系统的发展历程	220
二、集散控制系统的特点	221
三、集散控制系统的结构	221
第二节 集散控制系统通信网络	222
一、通信网络的特点	222
二、网络结构与通信介质	223
三、网络通信协议	224
第三节 TPS 集散控制系统	226
一、概述	226
二、分散过程控制装置	227
三、集中操作管理装置	233
四、通信网络	237

五、系统组态·····	238
六、应用·····	246
第四节 PCS 7 过程控制系统·····	250
一、概述·····	250
二、分散过程控制装置·····	251
三、集中操作管理装置·····	253
四、通信网络·····	254
五、系统组态·····	255
六、应用·····	256
第五节 集散控制系统的可靠性·····	259
一、可靠性指标·····	259
二、提高系统可靠性的措施·····	260
思考题与习题·····	261
第八章 现场总线控制系统·····	262
第一节 概述·····	262
一、现场总线发展背景·····	262
二、现场总线的技术特点·····	263
三、现场总线国际标准·····	264
第二节 几种流行的现场总线·····	268
一、Foundation Fieldbus ·····	268
二、Profibus ·····	272
三、LonWorks ·····	274
四、CAN ·····	278
五、DeviceNet ·····	279
六、HART ·····	280
第三节 实时工业以太网·····	282
一、概述·····	282
二、以太网用于工业现场的关键技术·····	283
三、基于 Ethernet 的工控网络结构·····	284
四、几种典型的实时以太网·····	284
第四节 工业短程无线网络·····	289
一、概述·····	289
二、工业短程无线网络国际标准·····	290
三、工业短程无线技术的应用类别·····	291
第五节 现场总线控制系统·····	292
一、现场总线控制系统组成·····	292
二、现场总线控制系统实例·····	295
思考题与习题·····	301
附录 本书主要符号说明·····	302
参考文献·····	303

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。

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

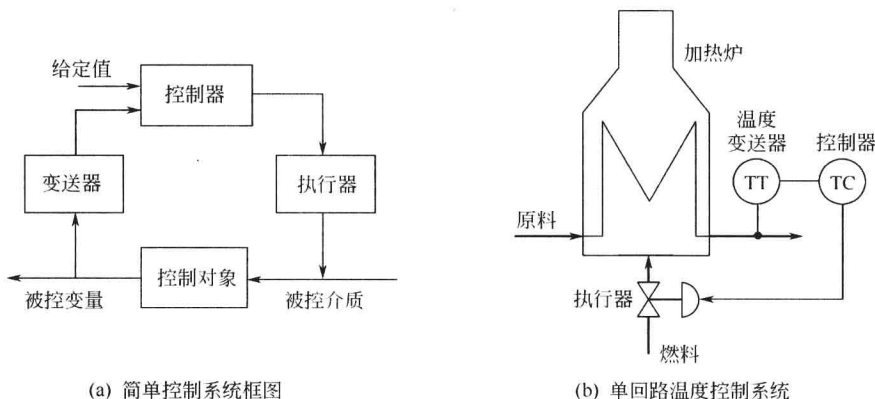


图 0-1 控制系统简图

图 0-1(a) 表示由控制仪表与控制对象组成的简单控制系统框图。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转换为易于传递的物理量，再经变送器转换成相应的电信号。该信号送到控制器中与给定值相比较。控制器按照比较后得出的偏差，以一定的控制规律发出控制信号，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。

图 0-1(b) 为由加热炉、温度变送器、控制器和执行器构成的一个单回路温度控制系统。温度变送器将温度信号转换为电信号，在控制仪表的作用下，通过执行器将加热炉的出口温度控制在规定的范围之内。

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

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进行分类。

2 控制仪表及装置

一、按能源形式分类

按能源形式可分为气动、电动、液动等几类。工业上通常使用电动控制仪表和气动控制仪表。

气动控制仪表的发展和应用已有数十年历史，20世纪40年代起就已广泛用于工业生产。它的特点是结构简单、性能稳定、可靠性高、价格便宜，且为本质安全防爆，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，但由于其能源获取、信号传输及放大、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，因而这类仪表的应用更为广泛。电动控制仪表的防爆问题，由于采取了本质安全防爆措施，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，本书予以重点介绍。

二、按信号类型分类

按信号类型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。20多年来，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处理器为核心，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

按结构形式可分为基地式控制仪表、单元组合式控制仪表、集散控制系统以及现场总线控制系统。

1. 基地式控制仪表

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。它不仅能对某变量进行指示或记录，还具有控制功能。基地式模拟仪表一般结构比较简单；基地式数字仪表则功能较为齐全，具有较高的性价比。这类仪表常用于单机自动化系统。

2. 单元组合式控制仪表

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，将仪表做成能实现某种功能的独立单元，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，可以构成多种多样、复杂程度各异的自动检测和控制系统。

单元组合仪表可分为变送单元、转换单元、控制单元、运算单元、显示单元、执行单元、给定单元和辅助单元八大类。

我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模拟技术和数字技术相结合的DDZ-S型系列仪表和组装式综合控制装置。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，它们在实现我国工业生产过程自动化中发挥了重要作用。

3. 集散控制系统

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）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 DCS 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”则是指集中监视、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。

工业上使用较多的数字式控制类仪表可编程调节器和可编程控制器，可与 DCS 配合使用。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，能方便地与计算机装置联用，构成不同规模的分级控制系统。

4. 现场总线控制系统

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。现场总线的出现改变了传统控制系统的结构，它将具有数字通信能力的现场智能仪表连成工厂底层网络系统，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发展与完善，FCS 将越来越多地应用于工业自动化系统中，并与传统 DCS 相结合，构成技术更先进的混合型分布式控制系统。

与此同时，应用广泛的以太网（Ethernet）也进入了工业控制领域。许多著名的工业控制系统都将以太网用作自动化系统管理层和监控层的通信网段，且向现场控制层延伸。各大公司正努力解决以太网用于工业现场的关键技术问题，使 Ethernet 更好地应用于工控系统的各级网络。

本世纪以来，随着 DCS 和 FCS 技术的进展，一种低成本、超低功耗、高可靠的短程无线网络开始应用于工业现场，无线网络与有线网络相结合，能完善系统功能，进一步提升工业自动化的水平。

第三节 联络信号和传输方式

一、联络信号

仪表之间应由统一的联络信号来进行信号传输，以便使同一系列或不同系列的各类仪表连接起来，组成系统，共同实现控制功能。

（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与装置所采用的主要联络信号。

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，故国际上都以直流电流或直流电压作为统一联络信号。

数字信号具有传输可靠、抗干扰能力强，易于储存和处理等特点，广泛用于数字仪表及

装置间的信号联络。

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

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是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 型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。

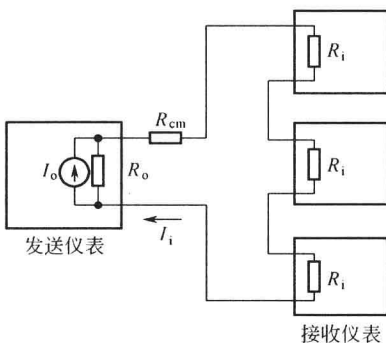


图 0-2 电流信号传输时
仪表之间的连接

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

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

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, 即

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

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

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

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。

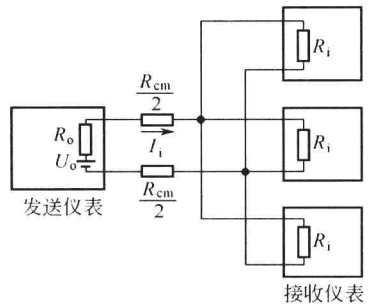


图 0-3 电压信号传输时仪表之间的连接

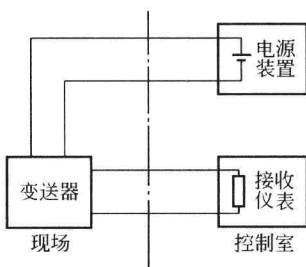


图 0-4 四线制传输

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。

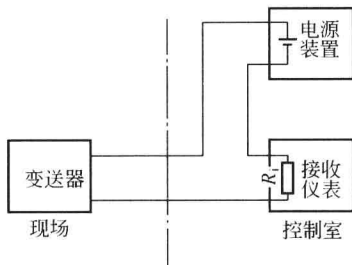


图 0-5 两线制传输

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 $4\sim 20\text{mA}(\text{DC})$ ，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、煤炭等工业部门中，某些生产场所存在着易燃易爆的气体、蒸气或粉尘，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。安装在这些场所的仪表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。因此，用于危险场所的控制仪表和系统必须具有防爆的性能。

(一) 爆炸危险场所的区域划分

爆炸危险场所按爆炸性物质的物态，分为爆炸性气体危险场所和爆炸性粉尘危险场所两类。

1. 爆炸性气体危险场所

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 区 在正常情况下，爆炸性气体混合物连续、频繁地出现或长时间存在的场所。
- (2) 1 区 在正常情况下，爆炸性气体混合物有可能出现的场所。
- (3) 2 区 在正常情况下，爆炸性气体混合物不可能出现，仅在不正常情况下偶尔或短时间出现的场所。

2. 爆炸性粉尘危险场所

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

- (1) 20 区 在正常情况下，爆炸性粉尘或纤维与空气的混合物可能连续、频繁地出现或长时间存在的场所。
- (2) 21 区 在正常情况下，爆炸性粉尘或纤维与空气的混合物有可能出现的场所。
- (3) 22 区 在正常情况下，爆炸性粉尘或纤维与空气的混合物不可能出现，仅在不正常情况下偶尔或短时间出现的场所。

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 区（或 20 区）要求选用本质安全型电气设备；1 区选用隔爆型、增安型等电气设备。

(二) 爆炸性物质的分类、分级和分组

1. 爆炸性物质的分类

爆炸性物质分为以下三类。

I类：矿井甲烷。

II类：爆炸性气体混合物（含蒸气、薄雾）。

III类：爆炸性粉尘和纤维。

2. 爆炸性物质的分级

(1) 爆炸性气体的分级 分别按最大试验安全间隙和按最小点燃电流比来分级。

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（MEGS）。经实验确定，甲烷气体的 $MEGS=1.14\text{mm}$ 。II类爆炸性气体分级限值规定如下。

A级： $0.9\text{mm}<MEGS<1.14\text{mm}$ 。

B级： $0.5\text{mm}\leq MEGS\leq 0.9\text{mm}$ 。

C级： $MEGS<0.05\text{mm}$ 。

② 按最小点燃电流比分级 在规定的标准试验条件下，不同物质产生点燃所需的电流大小各不相同。最小点燃电流比（MICR）是指以甲烷的最小点燃电流为参考，用其他气体的最小点燃电流除以甲烷的最小点燃电流，即

$$\text{MICR}=\text{某气体的最小点燃电流}/\text{甲烷的最小点燃电流}$$

试验显示，所有爆炸性气体的最小点燃电流都比甲烷小。根据最小点燃电流比的定义可知，甲烷的 MICR 为 1.0，II类爆炸性气体分级限值规定如下。

A级： $0.8<MICR<1.0$ 。

B级： $0.45\leq MICR\leq 0.8$ 。

C级： $MICR<0.45$ 。

由上可见，爆炸性气体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 爆炸性粉尘有导电粉尘和非导电粉尘两类，可分为III A、III B和III C三个等级。其中III A为爆炸性纤维，III B为非导电性粉尘，III C为导电性粉尘。显然，III C物质最危险，III B次之。

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	T1	T2	T3	T4	T5	T6
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 T5 的防爆电气设备可以适用于 T1~T4 各组，但是不适用于 T6，因为 T6 的引燃温度比 T5 低，可能被 T5 适用的防爆电气设备的表面温度所引燃。

(三) 防爆电气设备的分类、分组和防爆标志

1. 防爆电气设备的分类、分组

按照国家爆炸性环境用电气设备标准 GB 3836.1 的规定，防爆电气设备分为三类。

I类：适用于煤矿井下的防爆电气设备。

II类：适用于工厂爆炸性气体混合物场所的防爆电气设备。

8 控制仪表及装置

Ⅲ类：适用于工厂爆炸性粉尘和纤维混合物场所的防爆电气设备。

Ⅱ类电气设备按爆炸性气体特性，可分为ⅡA、ⅡB、ⅡC三级。

Ⅱ类电气设备的防爆型式共有九种：隔爆型(d)、增安型(e)、本质安全型(i)、正压外壳型(p)、油浸型(o)、充砂型(q)、无火花型(n)、浇封型(m)和粉尘防爆型(DIP)。本质安全型设备按其使用场所的安全程度又可分为 ia 和 ib 两个等级。

与爆炸性物质引燃温度的分组相对应，Ⅱ类电气设备可按最高表面温度分为 T1~T6 六组，如表 0-2 所示。

表 0-2 Ⅱ类电气设备的最高表面温度分组

组 别	T1	T2	T3	T4	T5	T6
最高表面温度/℃	450	300	200	135	100	85

2. 防爆标志

电气设备的防爆标志是在“Ex”防爆标记后依次列出防爆类型、气体级别和温度组别三个参量。

例如防爆标志 ExdⅡBT3 表示Ⅱ类隔爆型 B 级 T3 组，其设备适用于气体级别不高于Ⅱ类 B 级，气体引燃温度不低于 T3(200℃) 的危险场所。又如 ExiaⅡCT5 表示Ⅱ类本质安全型 ia 等级 C 级 T5 组，其设备适用于所有气体级别、引燃温度不低于 T5 (100℃) 的 0 区危险场所。

需要指出，新近修订后发布的 GB 3836.1 标准引入了设备保护级别 (EPL) 的概念。它是根据设备内在的点燃危险来识别和标志爆炸性环境用设备，使标准在结构上更为合理，技术上更具科学性和先进性，从而更方便防爆设备的选型和使用管理。新的设备防爆标志，是在上述防爆标志中增加设备保护级别的符号，详见该标准的相关内容。

二、防爆型控制仪表

常用的防爆型控制仪表是隔爆型和本质安全型两类仪表。

(一) 隔爆型仪表

隔爆型仪表具有隔爆外壳，仪表的电路和接线端子全部置于防爆壳体内，其表壳的强度足够大，隔爆接合面足够宽，它能承受仪表内部因故障产生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。这类仪表适用于 1 区和 2 区危险场所。

隔爆型仪表安装及维护正常时，能达到规定的防爆要求，但当揭开仪表外壳后，它就失去了防爆性能，因此不能在通电运行的情况下打开表壳进行检修或调整。

(二) 本质安全型仪表

本质安全型仪表 (简称本安仪表) 的全部电路均为本质安全电路，电路中的电压和电流被限制在一个允许的范围内，以保证仪表在正常工作或发生短接和元器件损坏等故障情况下产生的电火花和热效应不致引起其周围爆炸性气体混合物爆炸。

如前所述，本安仪表可分为 ia 和 ib 两个等级：ia 是指在正常工作、一个故障和两个故障时均不能点燃爆炸性气体混合物；ib 是指在正常工作和一个故障时不能点燃爆炸性气体混合物。

ia 等级的本安仪表可用于危险等级最高的 0 区危险场所，而 ib 等级的本安仪表只适用于 1 区和 2 区危险场所。

本安仪表不需要笨重的隔爆外壳，具有结构简单、体积小、质量轻的特点，可在带电工况下进行维护、调整和更换仪表零件的工作。

三、控制系统的防爆措施

处于爆炸危险场所的控制系统必须使用防爆型控制仪表及其关联设备，在化工、石油等部门的现场，往往要求控制系统具有本质安全的防爆性能。

(一) 本安防爆系统

要使控制系统具有本安防爆性能，应满足两个条件：①在危险场所使用本质安全型防爆仪表，如本安型变送器、电-气转换器、电气阀门定位器等；②在控制室仪表与危险场所仪表之间设置安全栅，以限制流入危险场所的能量。图 0-6 表示本安防爆系统的结构。

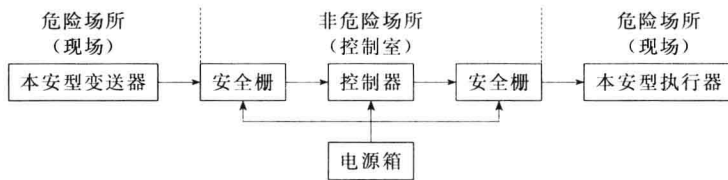


图 0-6 本安防爆系统

应当指出，使用本安仪表和安全栅是系统的基本要求，要真正实现本安防爆的要求，还需注意系统的安装和布线：按规定正确安装安全栅，并保证良好接地；正确选择连接电缆的规格和长度，其分布电容、分布电感应限制在限值之内；本安电缆和非本安电缆应分槽（管）敷设，慎防本安回路与非本安回路混触等。详细规定可参阅安全栅使用说明书和国家有关电气安全规程。

(二) 安全栅

安全栅作为本安仪表的关联设备，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性气体或混合物的点火能量以下，以确保系统的本安防爆性能。

安全栅的构成形式有多种，常用的有齐纳式安全栅和隔离式安全栅两种。

1. 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 0-7 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。

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。

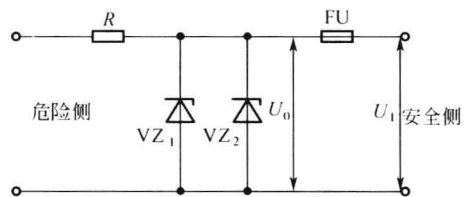


图 0-7 齐纳式安全栅

齐纳式安全栅结构简单、经济、可靠、通用性强，使用方便。

2. 隔离式安全栅

隔离式安全栅是通过隔离、限压和限流等措施来保证安全防爆性能的。通常采用变压器隔离的方式，使其输入、输出之间没有直接电的联系，以切断安全侧高电压窜入危险侧的通道。同时，在危险侧还设置了电压、电流限制电路，限制流入危险场所的能量，从而实现本安防爆的要求。