



普通高等教育“九五”国家级重点教材

控制仪表与 计算机控制装置

周泽魁 主编



化学工业出版社
教材出版中心

普通高等教育“九五”国家级重点教材

控制仪表与计算机控制装置

周泽魁 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

控制仪表与计算机控制装置/周泽魁主编. —北京:
化学工业出版社, 2002. 9
普通高等教育“九五”国家级重点教材
ISBN 7-5025-3914-X

I. 控… II. 周… III. ①过程控制-仪表-高等
学校-教材②计算机控制系统-高等学校-教材 IV. TP273

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 063959 号

普通高等教育“九五”国家级重点教材

控制仪表与计算机控制装置

周泽魁 主编

责任编辑: 唐旭华

责任校对: 陈 静

封面设计: 潘 峰

*

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

北京市彩桥印刷厂装订

开本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印张 24¹/₂ 字数 613 千字

2002 年 9 月第 1 版 2002 年 9 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-3914-X/G·1065

定 价: 38.00 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

随着工业技术的更新，特别是半导体技术、微电子技术、计算机技术和网络技术的发展，自动化仪表已经进入了计算机控制装置为主要的时代。面对这样的现实，如何组织自动化仪表课程的教学内容，是亟待解决的问题。考虑到计算机控制装置是在控制仪表基础上发展起来的，许多基本概念和基本自动原理在控制仪表中更容易讲透彻、更容易学习掌握；变送器和执行器也是计算机控制装置在构成自动控制系统时不可缺少的环节；同时，在中国控制仪表仍然并将继续大量使用。总之，计算机控制装置是控制仪表的发展，控制仪表是计算机控制装置的基础。因此本书包括控制仪表和计算机控制装置两方面的内容，并力求反映国内外在自动化仪表方面的新成就。

自动化仪表是实现生产过程自动化必不可少的工具，自动控制系统要达到预期的控制效果，性能优良、质量可靠的自动化仪表是基础。本书从控制系统的要求出发，精选内容，突出重点，力求系统性、完整性和实用性。

本书具有如下特点。

① 从控制理论角度，将电动控制仪表、数字式控制仪表、气动控制仪表有机地结合在一起；将控制仪表和计算机控制装置有机地结合在一起。

② 根据控制系统的要求，以仪表功能为基础，突出仪表构成原理，抓住控制仪表与计算机控制装置的共性技术，注意理论与实践相结合以及注重仪表分析能力的培养和提高。

③ 体现了自动化仪表发展的新水平和发展趋势。本书介绍了各种工业领域广泛使用的可编程序控制器 PLC、集散型计算机控制系统 DCS，在内容上包含了当今计算机技术、过程控制技术和网络通信技术以及相关领域的一些新进展、新方法；介绍了新一代现场总线控制系统、工业以太网；介绍了现场总线温度变送器；介绍了 HART 协议通信的压力变送器等。

④ 本书提供 PowerPoint 计算机辅助教学软件，作为一种新的授课方式的尝试，并将免费提供采用本书作为教材的大专院校使用。

本书由浙江大学周泽魁教授主编，全书共 10 章，其中第 1, 3, 5 章由浙江大学周泽魁编写；第 2 章由浙江大学周泽魁、沈阳化工学院魏立峰编写；第 4 章由大连理工大学孙旭东编写；第 6, 7, 9 章由浙江大学张光新编写；第 8 章由沈阳化工学院魏立峰、浙大中控技术有限公司编写；第 10 章由浙江大学张光新、冯冬芹编写。

全书由吴钦炜先生、何国森教授审阅，在此深表感谢。

由于时间仓促，编者水平有限，书中难免存在缺点和错误，恳请读者批评指正。

编 者

2002 年 6 月于浙江大学求是园

目 录

1. 概论	1
1.1. 控制仪表与装置总体概述	1
1.1.1. 自动控制系统和控制仪表	1
1.1.2. 控制仪表与装置的分类及特点	1
1.1.3. 信号制	4
1.2. 仪表防爆的基本知识	5
1.2.1. 防爆仪表的标准	6
1.2.2. 控制仪表的防爆措施	7
1.2.3. 控制系统的防爆措施	8
1.3. 仪表的分析方法	9
1.3.1. 采用单个放大器的仪表分析方法	9
1.3.2. 采用运算放大器的仪表分析方法	11
1.3.3. 仪表的分析步骤	17
思考题与习题	17
2. 控制器	19
2.1. 控制规律	19
2.1.1. 控制规律的表示方法	19
2.1.2. 控制器的基本控制规律	20
2.2. 模拟控制器	32
2.2.1. 控制器的功能	32
2.2.2. 基本构成环节的特性	33
2.2.3. DDZ-Ⅲ型电动调节器	37
2.2.4. DDZ-Ⅱ型电动调节器 PID 运算电路分析	51
2.2.5. 微分先行 PID 运算电路分析	54
2.2.6. 气动仪表 PID 运算分析	55
2.3. 数字式控制器	57
2.3.1. 数字式控制器构成原理	58
2.3.2. SLPC 可编程调节器	63
思考题与习题	78
3. 变送器	80
3.1. 概述	80
3.1.1. 变送器的构成原理	80
3.1.2. 变送器的共性问题	83
3.2. 差压变送器	90
3.2.1. 膜盒式差压变送器	90

3.2.2. 电容式差压变送器	98
3.2.3. 扩散硅式差压变送器	108
3.2.4. 智能式差压变送器	111
3.3. 温度变送器	115
3.3.1. 典型模拟式温度变送器	116
3.3.2. 一体化温度变送器	127
3.3.3. 智能式温度变送器	132
思考题与习题	135
4. 其他常用的单元仪表	136
4.1. 开方器	136
4.1.1. 开方器的作用	136
4.1.2. 开方器的构成原理	137
4.1.3. DDZ-Ⅲ型开方器	139
4.2. 积算器	146
4.2.1. 积算的基本概念与原理	146
4.2.2. 比例积算器	150
4.2.3. 开方积算器	155
4.3. 辅助单元仪表	155
4.3.1. 安全栅	155
4.3.2. 操作器	157
4.3.3. 电源箱	157
4.3.4. 电源分配器	158
4.3.5. 信号分配器	158
思考题与习题	159
5. 执行器	160
5.1. 概述	160
5.1.1. 执行器在自动控制系统中的作用	160
5.1.2. 执行器的构成	160
5.1.3. 执行器的分类及特点	160
5.1.4. 执行器的作用方式	161
5.2. 执行机构	161
5.2.1. 气动执行机构	161
5.2.2. 电动执行机构	163
5.2.3. 智能式电动执行机构	166
5.3. 调节机构	166
5.3.1. 调节机构的结构和特点	166
5.3.2. 调节机构的工作原理	169
5.3.3. 调节阀的流量系数	170
5.3.4. 调节阀的可调比	173
5.3.5. 调节阀的流量特性	175

5.4. 执行器的选择计算	180
5.4.1. 执行器结构形式的选择	180
5.4.2. 调节阀流量特性的选择	181
5.4.3. 调节阀的口径选择	183
5.5. 阀门定位器	185
5.5.1. 电/气阀门定位器	186
5.5.2. 气动阀门定位器	188
5.5.3. 智能式阀门定位器	188
思考题与习题	190
6. 计算机控制系统的基本知识	191
6.1. 计算机控制系统概述	191
6.1.1. 什么是计算机控制	191
6.1.2. 计算机控制系统的基本组成	192
6.1.3. 计算机控制系统的主要设计思想	193
6.1.4. 计算机控制系统的发展过程	196
6.1.5. 计算机控制的发展特征	206
6.2. 网络通信基础	202
6.2.1. 什么是计算机网络	202
6.2.2. 计算机网络的发展	203
6.2.3. 计算机网络的拓扑结构	203
6.2.4. 网络传输介质	205
6.3. 开放系统互联参考模型	206
6.3.1. 层次结构	206
6.3.2. 信息流动过程	208
6.3.3. 各层的主要功能	208
6.4. TCP/IP 协议	212
6.4.1. TCP/IP 的基本情况	213
6.4.2. TCP/IP 的层次结构	213
6.4.3. TCP/IP 的数据传输过程	215
6.4.4. IP 协议	215
6.4.5. TCP 和 UDP 协议	220
思考题与习题	223
7. 可编程序控制器	224
7.1. 概述	224
7.1.1. PLC 的产生	224
7.1.2. PLC 的特点	225
7.1.3. PLC 的分类	226
7.1.4. PLC 的发展趋势	227
7.2. PLC 基本工作原理	228
7.2.1. PLC 的基本组成	228

7.2.2. PLC 的基本工作原理	235
7.3. S7-300PLC 及指令系统	239
7.3.1. 系统组成	241
7.3.2. 系统配置	247
7.3.3. 指令系统简介	252
7.3.4. 程序结构	262
7.3.5. 网络通信	267
7.4. 可编程控制器的应用	271
7.4.1. PLC 系统的基本设计内容	271
7.4.2. PLC 系统的硬件设计	271
7.4.3. PLC 系统的软件设计	273
7.4.4. 应用实例分析	274
思考题与习题	281
8. 集散控制系统	283
8.1. 概述	283
8.1.1. 集散控制系统的基本概念	283
8.1.2. 集散控制系统的特点	283
8.1.3. 集散控制系统的发展趋势	284
8.2. DCS 的硬件体系结构	286
8.2.1. 概述	286
8.2.2. 现场控制单元	287
8.2.3. 操作站	291
8.3. DCS 的软件系统	293
8.3.1. 概述	293
8.3.2. 现场控制单元的软件系统	293
8.3.3. 操作站的软件系统	295
8.3.4. DCS 的组态(开发与生成)	296
8.3.5. DCS 中的先进控制技术	299
8.3.6. OPC 概述	303
8.4. 集散控制系统的应用	304
8.4.1. 工艺简介	305
8.4.2. 系统的主要控制要求	305
8.4.3. 系统控制方案	305
8.4.4. 控制方案在 DCS 上的实现	307
思考题与习题	315
9. 现场总线控制系统	316
9.1. 现场总线概述	316
9.1.1. 什么是现场总线	316
9.1.2. 现场总线的结构特点	317
9.1.3. 现场总线的技术特征	318

9.1.4. 现场总线国际标准化概况	319
9.2. 基金会现场总线	323
9.2.1. FF 总线的通信模型	324
9.2.2. H ₁ 总线协议数据的构成	325
9.2.3. FF 总线协议	325
9.2.4. 网络拓扑和设备连接	330
9.3. PROFIBUS 现场总线	333
9.3.1. PROFIBUS 总线的技术特征	333
9.3.2. PROFIBUS-DP	338
9.3.3. PROFIBUS-PA	341
9.3.4. PROFIBUS-FMS	343
9.3.5. PROFINet 简介	344
9.3.6. PROFIBUS 协议的实现	348
9.4. 几个具体问题的分析	350
9.4.1. FCS 与 DCS 的比较	350
9.4.2. 现场总线技术与计算机通信技术的比较	351
9.4.3. 现场总线技术的发展趋势	352
思考题与习题	353
10. 工业以太网	355
10.1. 以太网(Ethernet)体系结构简介	356
10.1.1. 物理层	356
10.1.2. MAC 层	356
10.1.3. 介质访问控制协议 CSMA/CD	357
10.1.4. 冲突退避算法	358
10.1.5. 传输介质	358
10.2. 工业以太网的通信线缆和连接件	359
10.3. 以太网应用于工业现场的关键技术	362
10.3.1. 工业以太网通信的实时性	362
10.3.2. 工业以太网服务质量	366
10.3.3. 工业以太网的网络生存性	369
10.3.4. 工业以太网的网络安全	373
10.3.5. 总线供电与安全防爆技术	375
10.3.6. 互可操作性和远距离传输	376
10.4. 工业以太网的应用	377
10.4.1. 典型工业以太网系统结构	377
10.4.2. 关于 Ethernet “e” 网到底	377
思考题与习题	379
附录 部分科学名词及其缩写	379
参考文献	382

1. 概 论

1.1. 控制仪表与装置总体概述

1.1.1. 自动控制系统和控制仪表

控制仪表与装置是实现生产过程自动化必不可少的工具，其重要性可通过图 1-1 所示例子来说明。

图 1-1 为一加热炉温度控制系统。原料通过加热炉内炉管加热，要求其出口温度保持一定，以满足生产需要；加热炉以燃料油作为燃料。图中温度变送器、控制器和执行器构成了一个单回路控制系统。炉出口温度经测温元件和温度变送器转换成相应的标准统一信号送到控制器，与给定值 SP 相比较，控制器按照比较后得到的偏差，以一定的控制规律发出控制信号，控制执行器的动作，改变燃料油的流量，从而使出口温度 T 保持在与给定值基本相等的数值上。

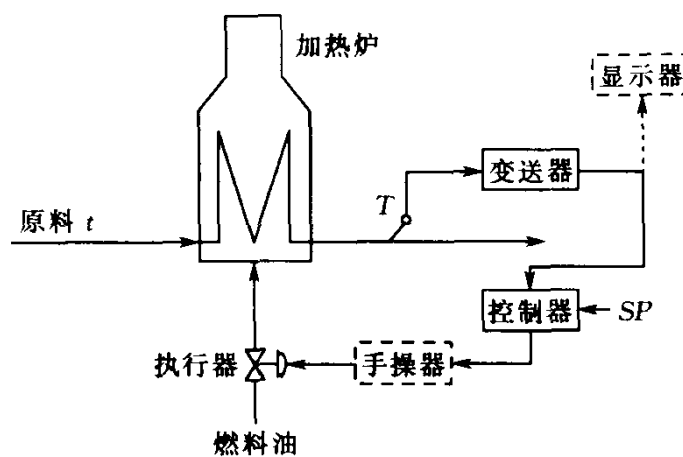


图 1-1 加热炉温度控制系统

为了提高控制系统的功能，还可增加一些仪表，如显示器、手操器等。而为了改善控制质量，还可以采用串级控制等其他更复杂的控制方案，显然，这将需要用到更多的仪表。

实际所采用的仪表，可以是电动仪表，气动仪表等各种系列的仪表，也可以是各种控制装置，所有这些仪表或装置都属于控制仪表与装置范畴。显而易见，如果没有这些仪表或装置，就不可能实现自动控制。

1.1.2. 控制仪表与装置的分类及特点

通常，控制仪表与装置可按能源形式、信号类型和结构形式来分类。

1.1.2.1. 按能源形式分类

可分为电动、气动、液动和机械式等几类。工业上普遍使用电动控制仪表和气动控制仪表，两者之间的比较如表 1-1 所示。

表 1-1 电动控制仪表和气动控制仪表的比较

	电动控制仪表	气动控制仪表
能源	电源 (220V AC) (24V DC)	气源 (140kPa)
传输信号	电信号 (电流、电压或数字)	气压信号
构成	电子元器件 (电阻、电容、电子放大器、集成电路、微处理器等)	气动元件 (气阻、气容、气动放大器等)
接线	导线, 印刷电路板	导管, 管路板

电动控制仪表具有能源获取方便，信号传输和处理容易，便于实现集中显示和操作等特

点。因此，尽管它的出现仅有几十年历史，但是发展异常迅速，短短的几十年间已几次升级换代，新产品也层出不穷，特别是计算机技术、微电子技术和网络通信技术的发展和广泛应用，更使电动控制仪表产生了飞跃的发展。目前在工业上电动控制仪表得到了最为广泛的应用。鉴于此，本教材将重点介绍这一类仪表。

气动控制仪表在 20 世纪 40 年代起就已广泛应用于工业生产。它具有结构简单、性能稳定、可靠性高、易于维护、安全防爆等特点。特别适用于石油、化工等有爆炸危险的场所。

1.1.2.2. 按信号类型分类

可分为模拟式和数字式两大类。

模拟式控制仪表由模拟元器件构成，其传输信号通常为连续变化的模拟量，如电流信号，电压信号，气压信号等。这类仪表大多线路较简单，操作方便，使用灵活，价格较低，长期以来广泛应用于工业生产。

数字式控制仪表以微处理器，单片机等大规模集成电路芯片为核心。其传输信号通常为断续变化的数字量，如脉冲信号。这类仪表由于可以进行各种数字运算和逻辑判断，其功能完善，性能优越，能解决模拟式控制仪表难以解决的问题，因此越来越广泛地应用于生产过程的自动控制。

1.1.2.3. 按结构形式分类

可分为单元组合式控制仪表、基地式控制仪表、集散型计算机控制系统以及现场总线控制系统。

(1) 单元组合式控制仪表

是根据控制系统各组成环节的不同功能和使用要求，将仪表做成能实现一定功能的独立仪表(称为单元)，各个仪表之间用统一的标准信号进行联系。将各种单元进行不同的组合，可以构成多种多样、适用于各种不同场合需要的自动检测或控制系统。这类仪表有电动单元组合仪表(DDZ)和气动单元组合仪表(QDZ)两大类。它们都经历了 I 型、II 型和 III 型的三个发展阶段，经过不断改进，性能已日臻完善。电动单元组合仪表中还有模拟技术和数字技术相结合的 DDZ-S 型系列仪表。

单元组合仪表可分为变送单元、执行单元、控制单元、转换单元、运算单元、显示单元、给定单元和辅助单元等八类。各单元的作用和品种如下。

① 变送单元 它能将各种被测参数，如温度、压力、流量、液位等物理量变换成相应的标准统一信号(4~20mA, 0~10mA 或 20~100kPa)传送到接收仪表或装置，以供指示、记录或控制。

变送单元的品种有：温度变送器、压力变送器、差压变送器、流量变送器、液位变送器等。

② 转换单元 转换单元将电压、频率等电信号转换为标准统一信号，或者进行标准统一信号之间的转换，以使不同信号可以在同一控制系统中使用。

转换单元的品种有：直流毫伏转换器、频率转换器、电-气转换器、气-电转换器等。

③ 控制单元 它将来自变送单元的测量信号与给定信号进行比较，按照偏差给出控制信号，去控制执行器的动作。

控制单元的品种有：比例积分微分控制器、比例积分控制器、微分控制器以及具有特种功能的控制器等。

④ 运算单元 它将几个标准统一信号进行加、减、乘、除、开方、平方等运算，适用

于多种参数综合控制、比值控制、流量信号的温度压力补偿计算等。

运算单元的品种有：加减器、乘除器和开方器等。

⑤ 显示单元 它对各种被测参数进行指示、记录、报警和积算，供操作人员监视控制系统和生产过程工况之用。

显示单元的品种有：指示仪、指示记录仪、报警器、比例积算器和开方积算器等。

⑥ 给定单元 它输出标准统一信号，作为被控变量的给定值送到控制单元，实现定值控制。给定单元的输出也可以供给其他仪表作为参考基准值。

给定单元的品种有：恒流给定器、定值器、比值给定器和时间程序给定器等。

⑦ 执行单元 它按照控制器输出的控制信号或手动操作信号，去改变控制变量的大小。

执行单元的品种有：角行程电动执行器、直行程电动执行器和气动薄膜调节阀等。

⑧ 辅助单元 辅助单元是为了满足自动控制系统某些要求而增设的仪表，如操作器、阻尼器、限幅器、安全栅等等。操作器用于手动操作，同时又起手动/自动的双向切换作用；阻尼器用于压力或流量等信号的平滑、阻尼；限幅器用以限制信号的上、下限值；安全栅用来将危险场所与非危险场所隔开，起安全防爆作用。

值得强调指出的是，由于单元组合仪表是根据控制系统各组成环节的不同功能和使用要求进行划分的，同时学习这类仪表不仅有利于了解仪表的必备功能，也有利于仪表基本概念的学习和掌握，而且还有利于掌握如何选择仪表构成所需要的控制系统或测量系统，基于这些原因，本书前几章将以单元组合仪表为线索进行编排。

(2) 基地式控制仪表

基地式控制仪表相当于把单元组合仪表的几个单元组合在一起，构成一个仪表。它通常以指示，记录仪表为主体，附加控制，测量，给定等部件而构成，其控制信号输出一般为开关量，也可以是标准统一信号。近年来也有在智能变送器、智能式执行机构或智能式阀门定位器中带有控制器功能。一个基地式仪表具有多种功能，与执行器联用或与变送器联用，便可构成一个简单的控制系统。通常该类仪表性能价格比高，适合用于单参数的控制系统。

(3) 集散控制系统(DCS系统)

DCS系统是一种以微型计算机为核心的计算机控制装置。其基本特点是分散控制、集中管理。

DCS系统通常由控制站(下位机)、操作站(上位机)和过程通信网络三部分组成。控制站完成数据采集、处理及控制等作用，它可以由DCS系统的基本控制器(包括控制卡、信号输入/输出卡、电源等)构成，也可以由可编程序控制器PLC(包括CPU、I/O、电源等模块)或带有微处理器的数字式控制仪表构成；操作站完成生产过程信息的集中显示、操作和管理等作用，它由工业控制计算机、监视器、打印机、鼠标、键盘、通信网卡等构成；过程通信网络用于实现操作站与控制站的连接，完成信息、控制命令等传输，通常过程通信网络还提供与企业管理网络的连接，以实现全厂综合管理。DCS系统可以实现单元组合仪表中除变送和执行单元之外所有的功能，并且由于计算机运算功能强大，其所能实现的功能也是单元组合仪表无法比拟的。

(4) 现场总线控制系统(FCS系统)

FCS系统是基于现场总线技术的一种新型计算机控制装置。其特点是现场控制和双向数字通信，即将传统上集中于控制室的控制功能分散到现场设备中，实现现场控制，而现场设备与控制室内的仪表或装置之间为双向数字通信。

现场总线是连接智能现场设备和自动化系统的数字式、双向传输、多分支结构的通信网络。其中现场设备是指系统最底层的监测、执行和计算设备，如智能化的变送器、执行器或控制器等。

FCS系统具有全数字化、全分散式、可互操作、开放式以及现场设备状态可控等优点，它是控制仪表与装置的发展趋势。FCS系统中还可能出现以以太网技术和以无线通信技术为基础的计算机控制系统。

1.1.3. 信号制

信号制即信号标准，是指仪表之间采用的传输信号的类型和数值。

控制仪表与装置在设计时，应力求做到通用性和相互兼容性，以便不同系列或不同厂家生产的仪表能够共同使用在同一控制系统中，彼此相互配合，共同实现系统的功能。要做到通用性和相互兼容性，首先必须统一仪表的信号制式。现场总线控制系统中，现场仪表与控制室仪表或装置之间采用双向数字通信方式，其标准将在第9章中介绍，这里介绍模拟信号标准。

1.1.3.1. 信号标准

(1) 气动仪表的信号标准

中国国家标准 GB 777《化工自动化仪表用模拟气动信号》规定了气动仪表信号的下限值和上限值，如表 1-2 所示，该标准与国际标准 IEC 382 是一致的。

表 1-2 模拟信号的下限值和上限值

下 限	上 限
20kPa (0.2kgf/cm ²)	100kPa (1kgf/cm ²)

(2) 电动仪表的信号标准

中国国家标准 GB 339《化工自动化仪表用模拟直流电流信号》规定了电动仪表的信号，如表 1-3 所示，表中序号 1 的规定与国际标准 IEC 381A 是一致的。序号 2 是考虑到 DDZ-II 系列单元组合仪表当时仍在广泛使用的现状而设置的。

表 1-3 模拟直流电流信号及其负载电阻

序号	电 流 信 号	负 载 电 阻
1	4~20mADC	250~750Ω
2	0~10mADC	0~1000Ω 0~3000Ω

1.1.3.2. 电动仪表信号标准的使用

(1) 现场与控制室仪表之间采用直流电流信号

采用直流电流信号具有以下优点。

① 直流信号比交流信号干扰少 交流信号容易产生交变电磁场的干扰，对附近仪表和电路有影响，并且如果外界交流干扰信号混入后和有用信号形式相同，难以滤除，直流信号就没有这个缺点。

② 直流信号对负载的要求简单 交流信号有频率和相位问题，对负载的感抗或容抗敏感，使得影响因素增多，计算复杂，而直流信号只需考虑负载电阻。

③ 电流比电压更利于远传信息 如果采用电压形式传送信息，当负载电阻较小，距离

较远时，导线上的电压会引起误差，采用电流传送就不会出现这个问题，只要沿途没有漏泄电流，电流的数值始终一样。而低电压的电路中，即使只采用一般的绝缘措施，漏泄电流也可以忽略不计，所以接收信号的一端能保证和发送端有同样的电流。由于信号发送仪表输出具有恒流特性，所以导线电阻在规定的范围内变化对信号电流不会有明显的影响。

当然，采用电流传送信息，接收端的仪表必须是低阻抗的。如果有多个仪表接收同一电流信息，它们必须是串联的。串联连接的缺点是任何一个仪表在拆离信号回路之前首先要把该仪表的两端短接，否则其他仪表将会因电流中断而失去信号。此外，各个接收仪表一般皆应浮空工作，否则会引起信号混乱。若要使各台仪表有自己的接地点，则应在仪表的输入、输出之间采取直流隔离措施，这对仪表的设计和应用在技术上提出了更高的要求。

(2) 控制室内部仪表之间采用直流电压信号

由于采用串联连接方式使同一电流信号供给多个仪表的方法，存在上述缺点。对比起来，用电压信号传送信息的方式在这方面就有优越性了，因为它可以采用并联连接方式，使同一个电压信号为多个仪表所接收。而且任何一个仪表拆离信号回路都不会影响其他仪表的运行。此外，各个仪表既然并联在同一信号线上，当信号源负极接地时，各仪表内部电路对地有同样的电位，这不仅解决了接地问题，而且各仪表可以共用一个直流电源。在控制室内，各仪表之间的距离不远，适合采用直流电压(1~5VDC)作为仪表之间的互相联络信号。

必须指出，用电压传送信息的并联连接方式要求各个接收仪表的输入阻抗要足够高，否则将会引起误差，其误差大小与接收仪表输入电阻高低及接收仪表的个数有关。

(3) 控制系统仪表之间典型连接方式

综上所述，电流传送适合于远距离对单个仪表传送信息，电压传送适合于把同一信息传送到并联的多个仪表，两者结合，取长补短，因此，虽然在 GB 3369 中只规定了直流电流信号范围(4~20mA DC)，但在具体应用中，电流信号主要在现场仪表与控制室仪表之间相连时应用；在控制室内，各仪表的互相联络采用电压信号(1~5VDC)。控制系统仪表之间典型连接方式如图 1-2 所示。图中 I_o 、 R_o 分别为发送仪表的输出电流和输出电阻； R_i 为接收仪表的输入电阻； R 为电流/电压转换电阻，通常 $I_o = 4 \sim 20\text{mA}$ 时 R 取 250Ω 。

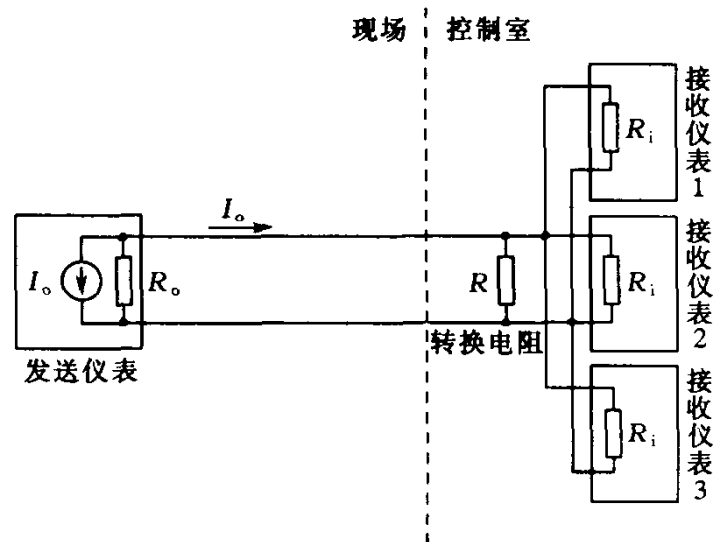


图 1-2 控制系统仪表之间典型连接方式

1.2. 仪表防爆的基本知识

在某些生产现场存在着各种易燃、易爆气体、蒸汽或粉尘，它们与空气混合即成为具有爆炸危险的混合物，而其周围空间成为具有不同程度爆炸危险的场所。安装在这种危险场所的仪表如果产生火花，就容易引起爆炸。因此，用于这种危险场所的仪表和控制系统，必须具有防爆性能。

气动仪表从本质上来说具有防爆性能。电动仪表必须采取必要的防爆措施才具有防爆性能，其防爆措施不同，防爆性能也将不同，因此，适合应用的危险场所也不同。下面着重讨

论电动仪表的防爆问题。

1.2.1. 防爆仪表的标准

防爆仪表必须符合国家标准 GB 3836.1《爆炸性环境用防爆电气设备通用要求》的规定。

1.2.1.1. 防爆仪表的分类

按照国标 GB 3836.1 规定，防爆电气设备分为两大类。

I 类：煤矿井下用电气设备。

II 类：工厂用电气设备。

III 类(工厂用)电气设备又分为 8 种类型。这 8 种类型及其标志如下

隔爆型	d	增安型	e
本质安全型	i	正压型	p
充油型	o	充沙型	q
无火花型	n	特殊型	s

电动仪表主要有隔爆型(d)和本质安全型(i)两种。本质安全型又分为两个等级：ia 和 ib。

1.2.1.2. 防爆仪表的分级和分组

在爆炸性气体或蒸汽中使用的仪表，引起爆炸主要有两方面原因：①仪表产生能量过高的电火花或仪表内部因故障产生的火焰通过表壳的缝隙引燃仪表外的气体或蒸汽；②仪表过高的表面温度。因此，根据上述两个方面对 II 类(工厂用)防爆仪表进行了分级和分组，规定其适用范围。

根据标准试验装置测得的最大试验安全间隙 δ_{max} 或按 IEC 79-3 方法测得的最小点燃电流与甲烷测得的最小点燃电流的比值 MICR，工厂用防爆仪表分为 A,B,C 三级，其规定如表 1-4 所示。

表 1-4 防爆仪表的分级

级 别	δ_{max}/mm	MICR
II A	$\delta_{max} \geq 0.9$	$MICR > 0.8$
II B	$0.9 > \delta_{max} > 0.5$	$0.8 \geq MICR \geq 0.45$
II C	$0.5 \geq \delta_{max}$	$0.45 > MICR$

根据最高表面温度，工厂用防爆仪表分为 T₁~T₆ 六组，其规定如表 1-5 所示。

表 1-5 防爆仪表的分组

温度组别	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆
最高表面温度/℃	450	300	200	135	100	85

仪表的最高表面温度可用下述方法间接得到

仪表的最高表面温度 = 实测最高表面温度 - 实测时环境温度 + 规定最高环境温度

防爆仪表的分级与分组，与易燃易爆气体或蒸汽的分级和分组是相对应的。易燃易爆气体或蒸汽的分级和分组如表 1-6 所示。仪表的防爆级别和组别，就是指它所能适应的某种爆炸性气体混合物的级别和组别，即对于表 1-6 中相应级、组之上方和左方的气体或蒸汽的混合物均可以防爆。

表 1-6 易爆性气体或蒸汽级别和组别一览表

组别	T ₁ >450℃	T ₂ 300~400℃	T ₃ 200~300℃	T ₄ 135~200℃	T ₅ 100~135℃	T ₆ 85~100℃
II A	甲烷、氨、乙烷、丙烷、丙酮、苯、甲苯、一氧化碳、丙烯酸、甲酯、苯乙烯、醋酸乙酯、醋酸、氯苯、醋酸甲酯	乙醇、丁醇、丁烷、醋酸丁酯、醋酸戊酯、环戊烷、丙烯、乙苯、甲醇、丙醇	环乙烷、戊烷、己烷、庚烷、辛烷、汽油、煤油、柴油、戊醇、己醇、环乙醇	乙醛、三甲胺		亚硝酸乙酯
II B	丙烯酯、二甲醚、环丙烷、市用煤气	环氧丙烷、丁二烯、乙烯	二甲醚、丙烯醛、碳化氢、	乙醚、二乙醚		
II C	氢、水煤气	乙炔		二硫化碳	硝酸乙酯	

1.2.1.3. 防爆仪表的标志

防爆仪表的防爆标志为“Ex”；仪表的防爆等级标志的顺序为：防爆型式、类别、级别、温度组别。

控制仪表常见的防爆等级有 ia II CT₅ 和 d II BT₃ 两种。前者表示 II 类本质安全型 ia 等级 C 级 T₅ 组，由表 1-6 可见，它适用于 T₅ 温度组别及其左边的所有爆炸性气体或蒸汽的场合；后者表示 II 类隔爆型 B 级 T₃ 组，由表 1-6 可见，它适用于级别和组别为 II AT₁，II AT₂，II AT₃，II BT₁，II BT₂ 和 II BT₃ 的爆炸性气体或蒸汽的场合。

1.2.2. 控制仪表的防爆措施

控制仪表主要采用隔爆型防爆措施和本质安全型防爆措施。

1.2.2.1. 隔爆型防爆仪表

采用隔爆型防爆措施的仪表称隔爆型防爆仪表，其特点是仪表的电路和接线端子全部置于防爆壳体内，其表壳强度足够大，接合面间隙足够深，最大的间隙宽度又足够窄。这样，即使仪表因事故在表壳内部产生燃烧或爆炸时，火焰穿过缝隙过程中，受缝隙壁吸热及阻滞作用，将大大降低其外传能量和温度，从而不会引起仪表外部规定的易爆性气体混合物的爆炸。

隔爆型防爆结构的具体防爆措施是采用耐压 80~100N/cm² 以上的表壳；表壳外部的温升不得超过由易爆性气体或蒸汽的引燃温度所规定的数值；表壳接合面的缝隙宽度及深度，应根据它的容积和易爆性气体的级别采用规定的数值等。

隔爆型防爆仪表安装及维护正常时，它能达到规定的防爆要求，但是揭开仪表表壳后，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。此外，这种防爆结构长期使用后，由于表壳接合面的磨损，缝隙宽度将会增大，因而长期使用会逐渐降低防爆性能。

1.2.2.2. 本质安全型防爆仪表

采用本质安全型防爆措施的仪表称本质安全型防爆仪表，也称安全火花型防爆仪表。这种防爆结构的仪表，在正常状态下或规定的故障状态下产生的电火花和热效应均不会引起规定的易爆性气体混合物爆炸。正常状态指在设计规定条件下的工作状态，故障状态指电路中非保护性元件损坏或产生短路、断路、接地及电源故障等情况。

本质安全型 ia 和 ib 两个等级分别表示：

① ia 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。

② ib 等级 在正常工作和一个故障时不能点燃爆炸性气体的电气设备。

安全火花型防爆仪表所采取的措施主要有以下两方面。

① 仪表采用低的工作电压和小的工作电流。通常，正常工作电压不大于 24VDC，电流不大于 20mADC；故障时电压不大于 35VDC，电流不大于 35mADC。

② 在线路设计上，对处于危险场所的电路，适当选择电阻、电容和电感的参数值，借以限制火花能量，使其只产生安全火花；同时在较大的电容、电感回路中并联双重化二极管，以消除不安全火花。

显然，安全火花型仪表防爆性能是仪表电路本身固有的防爆性能。它在本质上就是安全的，即使产生电火花现象，由于能量很小，也是安全火花，不致引起爆炸。因此，安全火花型防爆仪表，从原理上讲它能适用于各种爆炸性气体或蒸汽的场合，其防爆性能不随时间而变化，而且可在运行状态下进行维修和调整。

但是，必须指出，将本质安全型防爆仪表在其所适用的危险场合中使用，还必须考虑与其配合的仪表及信号导线可能对危险场所产生的影响，即应使整个测量或控制系统具有安全火花防爆性能。

1.2.3. 控制系统的防爆措施

要使整个测量或控制系统的防爆性能符合安全火花防爆要求，必须满足两个条件。

① 在危险场所使用安全火花型防爆仪表；

② 在控制室仪表与危险场所仪表之间设置安全栅，如图 1-3 所示。安全栅的作用是限制由控制室至现场的能量，将在第 4 章中具体介绍。

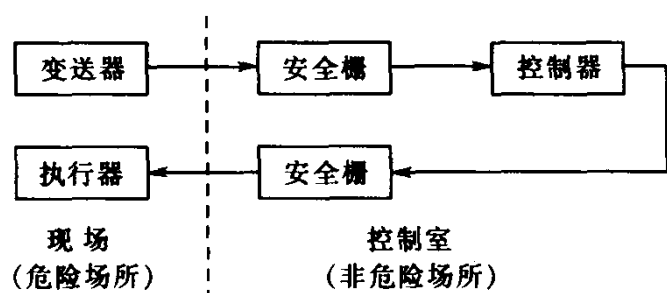


图 1-3 安全火花型防爆系统

根据上述两个条件构成的控制系统在设计上达到了安全火花防爆系统的要求。但是，要真正实现安全火花防爆，还必须注意系统的安装和使用，主要有以下两方面。

(1) 必须正确地安装安全栅和布线

① 安全栅必须有良好的接地。

② 安全栅的输入、输出端的接线，应该分别

分别布设，不能走同一条线槽，且输出端至现场仪表的连接导线应采用蓝色导线或外套蓝色套管，以防止可能产生的混触，使安全栅失去作用。控制柜内安全栅输出如经过端子连接，此端子也应采用蓝色的，并且与其他端子要有分隔板。

③ 由安全栅通向现场仪表的信号线，具有一定的分布电容和分布电感，因而储存了一定的能量。为了限制它们的储能，确保整个回路的安全火花性能，对信号线的分布电容和分布电感有一定的限制，其限制值可参看安全栅使用说明书的具体规定。

连接仪表用的低压电缆(或电线)，其分布电感、分布电容的大小与电缆的线芯粗细、结构形式和绝缘介质有关。具体数值可按以下公式计算

$$L_a = l \cdot \ln\left(\frac{s}{r_0}\right) \quad (1-1)$$

$$C_a = \frac{\pi l \epsilon}{\ln\left(\frac{s}{r_0}\right)} \quad (1-2)$$