

测量仪表 与 自动化

主编 赵玉珠



石油大学出版社

MEASURING INSTRUMENT AND AUTOMATION



7p216
二350

413395

测量仪表与自动化

主编 赵玉珠
编者 杜 鹃 徐莉苹
张朝晖 张培荣



石油大学出版社

内 容 简 介

本书较系统全面地介绍了石油各领域测量仪表、过程控制仪表、过程控制系统的基本知识。书中融会了编者多年的教学、科研和生产经验,内容新颖、充实,较快地反映了该领域的最新进展。各章后附有习题和思考题可供读者参考。

本书是石油加工、石油储运、石油工程、热工、轻化工及相关专业学习自动化知识的教材,还可供函授、电大、职工培训等选用,也可作为科技人员、管理人员的参考书。

2020/17

测量仪表与自动化

赵玉珠 主编

*

石油大学出版社出版

(山东省东营市)

新华书店经销

山东电子工业印刷厂印刷

*

开本 787×1092 1/16 22.125 印张 566 千字

1997年2月第1版 1997年2月第1次印刷

印数 1—5000 册

ISBN 7-5636-0945-8/TP·48

定价:17.40 元

前 言

本书共分三篇计十六章。第一篇测量仪表部分(第一章到第六章),以讲解检测原理与方法为主,分别讲述了压力、物位、流量、温度等参数的测量与变送。对显示仪表、成分分析仪表也逐一进行了介绍与讲解。第二篇过程控制仪表(第七章到第十章)讲述了构成自动调节系统所必需的过程控制仪表,即调节器、集散控制系统和调节阀的作用、原理和构成。对现场总线及电气仪表的防爆也进行了讲解。第三篇过程控制系统(第十一到第十六章),讲述了利用上两篇所介绍的仪表构成自动控制系统的方法和评价,包括对象特性、动态过程、简单和复杂调节系统,及石油集输、加工、采油等方面自动控制的实例和最新的一些控制动态。

本书在讲解测量仪表及自动控制系统的基本原理基础上,还具有以下特点:(1)规范化,有关计量的各种单位一律采用最新的国际、国家标准,单位统一。例如温标、压力单位等。(2)内容较系统全面,内容先进,能及时地反映仪表的发展动态。如智能变送器、集散控制系统、及油气处理自动化等。(3)适应面宽,实用性强。本书除了适应石油生产过程的有关专业如加工、储运、热工、石油工程等专业外,也适应于化工、轻工等行业的自动化专业。(4)讲述方法有所创新,如执行器部分的内容组织新颖,更易于掌握。(5)编者结合理论与多年积累的实践经验,每章都编出了一些具有启发性的习题和思考题。

赵玉珠负责全书的统稿、修改,并编写了绪论,第八章第三、四、五节;杜鹃编写概述,第三、四、五、六章;张朝晖编第七章,第八章第一、二节,第九章,第十章,第一章第三节的五,第四节的第七节,第十六章的第五节;徐莉苹编写第十一、十二、十三、十四、十五、十六章;山东轻工学院的张培荣编写第一、第二章。

由于编者水平有限,时间仓促,书中难免有不妥和错误之处,恳切希望读者批评指正。

编 者

1996年9月

目 录

绪论	1
一、学习本课程的意义	1
二、生产过程自动化的基本概念	1
三、自动化仪表的分类	4
四、自动化仪表的发展概况	5
五、单元组合仪表的统一信号、分类和命名	6

第一篇 测量仪表

概述	8
第一节 测量过程	8
一、测量的概念	8
二、测量方法	8
三、测量仪表	9
第二节 仪表的测量误差及性能指标	9
一、测量误差	9
二、仪表的性能指标	10
习题与思考题	14
第一章 压力测量及变送	15
第一节 概述	15
一、压力单位	15
二、压力的表示方法	16
三、测压仪表	16
第二节 弹性式压力计	17
一、弹性元件	17
二、弹簧管压力表	17
三、压力计的选用、安装与校验	18
第三节 压力、差压变送器	22
一、气动仪表的基本元部件	22
二、气动压力变送器	25
三、差压变送器	28
四、电容式差压变送器	32
五、智能式压力变送器	34
第四节 其它压力检测仪表	34
一、应变片式压力变送器	34
二、振弦式压力计	35

三、压阻式压力传感器	36
习题与思考题	37
第二章 物位测量及变送	38
第一节 概述	38
一、直读式物位仪表	38
二、浮力式物位仪表	38
三、差压式物位仪表	38
四、电磁式物位仪表	38
五、核幅射式物位仪表	39
六、声波式物位计	39
七、光学式物位仪表	39
第二节 浮力式液位计	39
一、恒浮力液位计	39
二、变浮力式液位计	43
第三节 差压式液位计	47
一、工作原理	47
二、零点迁移问题	48
三、法兰式差压变送器	50
四、吹气法测量液位	50
第四节 储罐液体称量仪	52
第五节 其它物位计	54
一、电容式物位计	54
二、超声波物位计	57
三、核辐射物位计	59
四、钢带式液位计	60
五、锅炉汽包水位的测量	63
习题与思考题	66
第三章 流量测量及变送	67
第一节 引言	67
一、流量的定义和单位	67
二、流量测量仪表的分类	68
第二节 差压式流量计	68
一、节流原理与流量基本方程式	68
二、标准节流装置	70
三、差压计	72
四、差压式流量计的安装	72
第三节 靶式流量计	74
一、测量原理	74
二、靶式流量计的结构	75
三、安装和使用	77

第四节 容积式流量计	77
一、椭圆齿轮流量计	78
二、腰轮流量计	80
三、刮板流量计	80
四、容积式流量计的特性	81
第五节 转子流量计	82
一、工作原理	82
二、远传式转子流量计	84
三、转子流量计示值的修正	86
第六节 其它流量计	88
一、电磁流量计	88
二、涡街流量计	89
三、涡轮流量计	91
四、弯管流量计	93
五、质量流量计	94
习题与思考题	100
第四章 温度测量及变送	102
第一节 引言	102
一、温标	102
二、温度测量仪表的分类	103
第二节 膨胀式温度计	104
一、玻璃管液体温度计	104
二、压力式温度计	105
三、双金属温度计	106
第三节 热电偶温度计	107
一、热电偶的测温原理	107
二、常用热电偶	110
三、热电偶的结构	111
四、热电偶冷端温度的处理方法	113
第四节 热电阻温度计	116
一、热电阻的测温原理	116
二、常用金属热电阻	117
三、半导体热电阻	119
第五节 热辐射温度计	120
一、物体热辐射能与温度的关系	120
二、辐射高温计	120
第六节 测温元件的安装	121
一、接触式测温元件的安装	122
二、非接触式测温元件的安装	123
第七节 温度变送器	123

一、输入桥路	124
二、反馈电路	125
三、比较和放大电路	126
习题与思考题	126
附录 I 常用热电偶分度表	127
附录 II 常用热电阻分度表	143
第五章 显示仪表	146
第一节 色带指示仪	146
一、气动色带指示仪(QXZ 型)	146
二、电子色带指示仪(GHY 型)	148
第二节 自动电子电位差计	148
一、手动电位差计	148
二、自动电子电位差计	150
第三节 自动电子平衡电桥	153
一、平衡电桥工作原理	153
二、自动平衡电桥	154
第四节 微机化显示仪表	155
一、数字式显示仪表	155
二、微机化显示仪表简介	159
习题与思考题	161
第六章 成分分析仪表	162
第一节 氧量分析仪	162
一、磁性氧分析仪	162
二、氧化锆式氧分析仪	166
第二节 含水分析仪	171
一、电容式原油低含水分析仪	171
二、微波式原油高含水分析仪	173
第三节 气相色谱分析仪	176
一、气相色谱分离原理	176
二、气相色谱检测器	178
三、工业气相色谱仪	181
第四节 密度的自动测量	183
一、浮力式密度计	183
二、振动式密度计	185
习题与思考题	188

第二篇 过程控制仪表

第七章 调节规律	189
第一节 比例调节规律(P)	190
第二节 积分(I)和比例积分(PI)调节规律	191

第三节	微分(D)和比例微分(PD)调节规律	192
第四节	比例积分微分三作用调节规律(PID)	193
	习题与思考题	194
第八章	调节器	195
第一节	气动集装式调节器	195
	一、测量值的显示机构	196
	二、给定机构	197
	三、微分先行单元	198
	四、比例积分单元	199
	五、手操器	200
	六、手自动切换装置	200
第二节	电动Ⅱ型调节器	201
	一、外形及操作	201
	二、结构原理	202
第三节	可编程序控制器、单回路调节器	205
	一、可编程序控制器 PC(PLC)	205
	二、单回路调节器	209
第四节	集散控制系统简介	217
	一、集散控制系统的概念	217
	二、集散控制系统的发展过程	217
	三、集散控制系统的基本特点	218
	四、集散控制系统的基本组成	219
	五、集散控制系统的发展趋势	221
第五节	现场总线	222
	一、概述	222
	二、HART 协议	222
	三、ISP 现场总线	222
	四、现场总线结构形式	223
	习题与思考题	224
第九章	执行器	225
第一节	概述	225
第二节	执行机构	225
	一、气动薄膜执行机构	226
	二、气动活塞执行机构	228
	三、电动执行机构	228
第三节	调节机构	231
	一、调节机构的种类	232
	二、调节机构的节流原理	233
	三、调节机构的性能指标	236
	四、调节机构的工作性能指标	239

第四节 执行器的选择和使用	241
一、执行器气开、气关特性的选择	242
二、执行机构的选择	242
三、调节机构的选择	242
习题与思考题	244
第十章 电气仪表的防爆	246
第一节 防爆基本知识	246
一、爆炸性物质及其类、级、组的划分	246
二、爆炸性环境及其类、级、范围的划分	248
三、防爆电气仪表及其类、级、组	248
第二节 本质安全设备和系统	251
一、引爆原理	251
二、本质安全设备	251
三、本质安全系统	252
习题与思考题	253

第三篇 过程控制系统

第十一章 自动调节系统的基本概念	254
第一节 自动调节系统的组成及分类	254
一、自动调节系统的组成	254
二、自动调节系统的方块图	256
三、反馈调节系统	257
四、自动调节系统的分类	258
第二节 自动调节系统的过渡过程及品质指标	258
一、自动调节系统的过渡过程	258
二、自动调节系统的静态与动态	259
三、分析自动调节系统常用的干扰形式——阶跃干扰	259
四、过渡过程的形式	260
五、过渡过程的品质指标	261
习题与思考题	262
第十二章 对象特性对调节质量的影响	264
第一节 对象特性及描述方法	264
一、对象特性	264
二、对象特性的描述方法	264
第二节 描述对象特性的参数	266
一、放大系数 K 与时间参数 T	266
二、纯滞后时间 τ	267
第三节 对象特性对调节质量的影响	269
一、 K_0 、 K_f 对调节质量的影响	270
二、 T_0 、 T_f 对调节质量的影响	270

三、 τ_0 、 τ_f 对调节质量的影响	270
习题与思考题	271
第十三章 简单调节系统	272
第一节 简单调节系统的设计	272
一、简单调节系统的组成	272
二、被调参数的选择	272
三、调节参数的选择	273
四、测量变送环节对控制系统的影响	275
五、气动执行器的选择	276
六、调节器调节规律的选取	278
第二节 调节器参数的工程整定	279
一、临界比例度法	279
二、衰减曲线法	280
三、经验凑试法	281
第三节 调节系统的投运	281
一、投运前的准备工作	281
二、投运	282
三、调节器参数的工程整定	283
习题与思考题	283
第十四章 复杂调节系统	284
第一节 串级调节系统	284
一、串级调节系统的基本概念	284
二、串级调节系统的特点	288
三、串级调节系统副回路的设计	288
四、主、副调节器的选择	290
五、串级调节系统的投运及参数整定	291
六、串级调节系统的应用场合	291
第二节 均匀调节系统	293
一、均匀调节的目的	293
二、均匀调节系统的特点	294
三、均匀调节方案	295
四、均匀调节系统应用示例	295
第三节 比值调节系统	296
一、比值调节概述	296
二、比值调节系统的类型	297
三、比值系数的计算	298
四、比值调节系统的参数整定	300
第四节 分程调节系统	301
一、分程调节的基本概念	301
二、分程调节的目的	302

三、实施分程调节的几个问题	303
第五节 前馈调节系统	303
一、基本概念	303
二、前馈调节的主要形式:前馈-反馈调节系统	305
三、前馈调节的应用场合	305
第六节 多冲量调节系统	305
一、单冲量调节系统	306
二、双冲量调节系统	306
三、三冲量调节系统	306
习题与思考题	306
第十五章 典型操作单元的调节方案	309
第一节 精馏塔的自动调节方案	309
一、自动调节必须满足的要求	309
二、精馏塔的干扰因素及可供选择的调节参数	310
三、精馏塔的基本调节方案	311
第二节 调合作业的自动调节	314
一、随动流量比值调节	314
二、由总流量给定的流量比值调节	314
三、由成分分析仪表给定的流量比值调节	315
四、数字式混合配比调合系统	315
第三节 加热炉的自动调节	317
一、加热炉的单回路调节系统	317
二、加热炉的串级调节系统	318
三、加热炉的安全措施	319
第四节 锅炉的自动调节	319
一、汽包水位调节	320
二、锅炉燃烧系统的调节	320
习题与思考题	323
第十六章 计算机控制系统的应用	324
第一节 计算机在控制系统中的典型应用方式	324
一、数据采集和数据处理系统	324
二、直接数字控制系统	324
三、计算机监督控制系统	325
四、集散控制系统	326
第二节 热媒炉微机控制系统	326
一、微机控制系统的功能	326
二、硬件系统结构特点	327
三、热媒炉燃烧控制系统简介	327
第三节 小型工业控制机控制油品自动装车	329
一、对自动装车系统的要求	329

二、自动装车系统的组成	330
第四节 计算机直接数字控制的调合系统	332
一、比值调节系统	332
二、比值调节质量监控调合系统	332
第五节 采油自动化系统	334
一、工艺及特点简介	334
二、自动化系统的组成	334
第六节 DCS 在某常减压装置上的应用	335
一、装置概况	335
二、Honeywell S9000 DCS 系统的配置情况	336
三、S9000 DCS 软件系统	338
四、Honeywell S9000 DCS 系统在常减压装置上的应用情况	338
习题与思考题	339
参考文献	340

绪 论

一、学习本课程的意义

测量仪表及自动化是一门有广泛社会需求和技术基础的技术科学,其水平也是一个国家技术先进程度、生产力发达程度与生产关系相适应程度的标志。

近年工业规模走向大型化、复杂化、精细化、批量化,仪表及控制系统被看成现代工业本体的脑神经、脉神经网络。所以,也就要求它具有很高级的机能。

随着仪表控制系统构成要素的性能的提高,研究这些构成要素之间的关系就会知道,如何构成系统,如何运转,必须将其放在重要位置上,而且有很强信息处理能力的计算机已大量应用在仪表系统中,从当前仪表系统来讲,其特点是仪表计算机化,计算机仪表化,这种特征的仪表装置起到了重要作用。系统不断地大系统化,这对社会也产生了影响,解决人类面临的几大难题,如防护灾害、控制环境污染,也成为仪表系统思考的内容。

随着科学技术的进步,现代工业控制对仪表及系统提出了更高的要求,主要是精度和操作性及可靠性方面,其它还有信号的统一,适配性和扩展性,危险场所的安全防爆,可靠性的进一步提高等。随着技术的发展,新的检测元件、一次仪表,包括分析器、在线分析仪不断被开发研究出来,相应地对执行器这一薄弱环节也引起了人们的重视,各种新型阀也不断出现在市场上,这都是很重要的技术发展。

测量仪表与自动化是一门综合性的技术学科,它与生产过程有着紧密的联系。现代化生产过程中的科技人员,除了要求懂工艺和设备外,还要求具有测量仪表及自动控制方面的知识。这样,才能在生产岗位和科学研究部门充分发挥作用。

二、生产过程自动化的基本概念

什么是生产过程自动化呢?

简单地说:就是在生产过程中,在生产设备上配备一些自动化仪表、装置来显示、记录和控制生产过程中的重要工艺参数,使整个生产过程能自动地维持正常状态,当受到外界干扰的影响而偏离正常状态时,又能自动地调回到规定的数值范围内,这就是生产过程自动化。

为了实现生产过程自动化,通常采用的生产过程自动化系统可分为以下几类:

(一) 自动检测系统

在生产过程中,为了及时而准确地了解与掌握生产过程运行的情况,需要用各种自动测量仪表,不断地对工业生产过程的各个参数进行检测,并把测量结果自动地指示和记录下来,以代替操作者对各个参数的不断观察和记录。因此,自动检测系统又称为生产过程的“眼睛”。

(二) 自动信号连锁保护系统

当生产过程由于某一偶然因素,如仪表失灵或工艺上的原因引起生产过程不正常时,就有引起爆炸、燃烧或其它事故的可能。为了确保生产安全,保证产品质量,常对关键性参数设有信号自动连锁装置。在事故即将发生前,信号系统能自动地发出声、光报警信号,告诫人们注意。

如工况过程接近危险状态时, 连锁系统立即采取紧急措施, 打开安全阀或切断某些通路, 必要时紧急停车, 以防事故的发生和扩大。这是生产过程中的一种安全装置。

(三) 自动操纵系统

自动操纵系统可根据预先规定的步骤, 自动地对生产设备进行某种周期性操作。它利用自动操纵装置可以自动地启动、停运设备, 或进行交替动作。如果指挥系统是一个程序发生器, 则构成了程序控制系统。

(四) 自动调节系统

生产过程中各种工艺条件不可能是一成不变的, 生产过程大多属连续生产, 各设备都相互关联着, 其中某一设备中的工艺条件发生变化时, 都可能引起其它设备中某些参数波动, 或偏离正常的工艺条件时, 为了保证生产能按预定生产技术指标的要求正常进行, 就需要一些自动调节装置, 对生产中某些重要的参数进行自动调节, 使它们在受到外界干扰的影响而偏离正常状态时, 能自动地回复到规定的数值范围内, 这就是自动调节系统。

自动调节系统是不断总结劳动人民在生产实践中长期积累的经验而逐渐发展起来的。用仪表自动化装置模仿人的操作系统。由于自动控制系统的使用, 保证了生产有更高的效率, 保证了产品的质量、产量和机械设备的安全。同时, 减少了对劳动力的要求。在一定的条件下减轻了体力劳动, 又促进了生产的发展。目前, 一些生产过程没有自动控制已无法进行。

自动调节系统实际上是模仿人工的操作。我们不仿以加热炉对原料进行加热而进行调节和人工操作的过程进行对比。如图 1 所示。

图 1 是人工调节加热炉的示意图, 被加热的油品经过加热炉后, 将油加热到所需要的温度。当人工操作时, 首先必须测出被加热油品的温度, 这就需要一个温度检测仪表。根据温度表的指标, 操作人员把实际温度(测量值)和所要求的温度给定值进行比较, 若被加热的油品温度高了, 可将加热炉的燃料油阀门关小; 若实际温度低了, 则将燃料油阀门开大。然后再看温度表的指示, 这样不断地进行调节保持实际温度与给定温度大体相同。因此, 人工调节时, 就是借助人的眼、脑、手

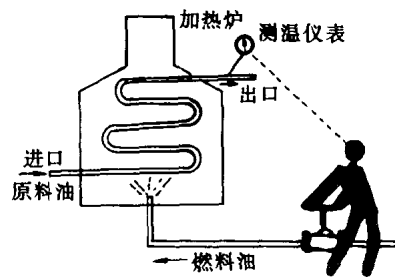
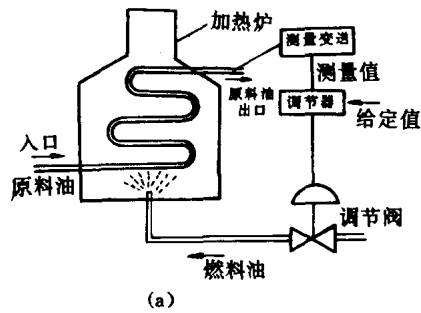


图 1 人工调节加热炉

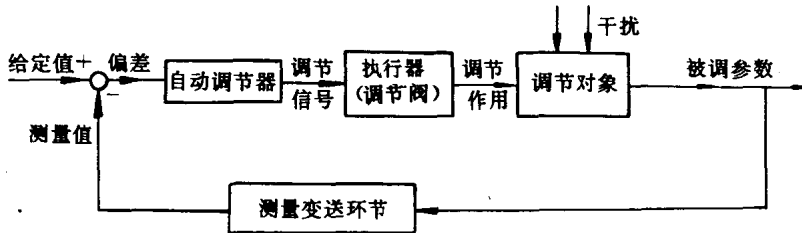
这三个器官, 眼睛用来观察实际温度的高低, 是感受部分; 脑用来分析、比较、判断发出命令, 决定开还是关燃料油的阀门, 所以大脑是指挥机构; 手是执行机构, 执行大脑的命令。显然, 这种人工调节是很繁重的, 而且由于操作人员的经验不同, 可以调得很好, 也可能调不好。

自动调节用自动化仪表来模仿人工的上述操作过程。显然, 必须有一个测量温度的环节; 必须有一个能将实际温度与给定温度进行比较, 然后根据二者之间的差值按一定规律去进行指挥的调节环节; 最后, 必须有一个自动操作阀门去代替人工操作的阀门(统称为执行器), 这样就构成了图 2 所示的自动调节系统。图 2(b)是图 2(a)的方块图, 测量变送单元相当于人的眼睛的作用, 调节单元完成人的大脑的分析、判断并发出控制命令的作用, 而执行器则完成人的手的作用。

一般说来, 自动调节系统都是由调节对象、测量变送环节、调节环节(自动调节器)和执行器组成, 这些环节是相互联系又互相影响的。由图 2(b)看出, 当干扰(例如被加热油品进料流量变化)使温度变化后, 温度检测仪表送给调节环节的信号就发生变化, 进而使执行器动作, 执行器动作又会使温度发生变化, 又使温度检测仪表送给调节环节的信号发生变化。它们按图 2



(a)



(b)

图2 加热炉自动调节系统

(b)箭头所示方向相互影响着。由于这环节组成了一个封闭回路(称为闭环系统),因此各环节是相互影响的。这种闭环系统,亦称为反馈系统,由于这一反馈作用,任一环节的输出通过反馈(闭合回路),都会影响它的输入。调节作用正是通过这种反馈作用来实现的。

因此,我们要切记自动调节系统是一个负反馈系统(人工调节也是负反馈,不过这种负反馈作用是通过人来实现的)。该负反馈系统,是将调节对象的输出,通过测量变送环节、调节环节、执行器反馈到调节对象输入端的闭合系统。这样,当干扰引起调节对象输出增加时,由于反馈作用又会使输出减小,最终使调节对象的输出(被调量)保持在给定值附近。调节作用就是这样通过负反馈来实现的。

有关术语介绍:

调节对象:自动调节系统中的生产工艺设备(如加热炉、塔、换热器等),叫做调节对象或简称对象。

被调参数:生产中需要保持不变的工艺指标(如加热炉出口油品温度)。也就是生产中需要控制的工艺参数。

给定值:按工艺要求,被调参数需保持的工艺指标规定的数值。

测量值:也称指示值,即被调参数的实测数值。

偏差:测量值与给定值之差。测量值大于给定值叫正偏差,反之,则称负偏差。

检测、变送环节:直接测量被调参数的元件如热电偶、热电阻等,将检测元件的信号转换成标准统一信号的仪表称为变送单元(环节)。

调节单元(器):将测量信号和给定信号比较所得偏差,按一定的数学规律输出调节信号去操纵(控制)执行器。

执行器:就是调节阀,它接受调节器的输出信号,以改变阀门的开度而进行调节。

干扰:引起被调参数发生变化的各种因素。

三、自动化仪表的分类

随着科学技术的迅速发展,生产面貌日新月异,仪表的种类五花八门,不胜枚举。因此,只能从几个主要方面加以分类。

(一) 按仪表工作所需能源来分

可分为三类:

一类是气动仪表,它以干燥、清洁的压缩空气为能源,其压力大小一般为 0.14MPa;

一类是电动仪表,一般其能源为 220 伏交流供电,或 24 伏直流供电;

还有一类是以液压为工作能源的液动仪表。

(二) 按组成结构分

有基地式仪表、单元组合式仪表、组装式仪表和分散型综合控制系统等。

1. 基地式仪表

基地式仪表是给定、测量、调节等机构全装在一个壳体內的仪表。它是专为某种被测参数在特定的测量范围内使用的仪表,它与单输入单输出的简单控制系统相适应。

2. 单元组合式仪表

单元组合式仪表按照自动调节系统中各组成部分的功能和现场使用要求,分成若干个独立的单元。各单元之间用标准信号联系。在使用时再按一定的要求,将各单元组合在一起。单元组合仪表按工作能源又可分成气动单元组合仪表和电动单元组合仪表。

3. 组件组装式仪表

它是将集成电路和其它一些电子元件按照功能制成若干插件,根据需要选择不同的插件就能组成自动调节或控制系统。

4. 分散型综合控制系统

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新型控制系统。它的设计思想是分散控制、集中管理。

(三) 按防爆能力分

有普通型、隔爆型和安全火花型等类仪表。

工业的迅猛发展,特别是石油化工企业对仪表的防爆能力日益重视,除气动仪表已应用在易燃、易爆场合外,电动仪表的设计者也考虑了各种防爆措施。现场仪表的防爆能力已成为仪表性能的重要指标。

1. 普通型

凡是未采取防爆措施的仪表,只能应用在非危险场所。

2. 隔爆型

采取隔离措施以防止引燃引爆事故的仪表。例如最普通的办法是采用足够厚的金属外壳,其连接处采用符合规定的螺纹。有的情况下对壳体的材质和壳内空间的尺寸也有规定。这样的仪表,当表内电路出现故障时,其破坏范围被限制在密闭的壳体内,不致于将周围易燃气体引燃。

也有采用充入惰性气体或将电路浸在油中的办法隔离的。其用意是靠惰性气体或油熄灭电火花,并帮助散热降温。同时,使周围易燃物与电路隔离。