



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

石油高职高专规划教材

石油仪表及自动化

王克华 张继峰 主编
辜忠涛 主审



石油工业出版社
Petroleum Industry Press

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

石油高职高专规划教材

石油仪表及自动化

王克华 张继峰 主编
辜忠涛 主审

石油工业出版社

内 容 提 要

本书为高职高专教材。全书共分十二章，其内容包括三大部分。第一章至第六章分别介绍了测量基本知识和压力、物位、流量、温度等参数的测量，对显示仪表、成分分析仪表也进行了介绍。第七章到第九章，分别介绍了控制系统的基本知识和调节仪表。第十章到第十二章，分别介绍了自动控制系统的组成、简单和复杂控制系统的特征与投运，并介绍了石油加工、油气储运等方面自动控制的应用实例和最新的一些控制方法。

本书可作为高职高专石油储运、炼制、化工、燃气输配及轻工、热电、供热等专业的仪表自动化教学，也可以作为函授学校、成人教育学校、企业培训学校的相关专业教材，并可供相关行业工艺技术人员及操作人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

石油仪表及自动化/王克华, 张继峰主编.

北京: 石油工业出版社, 2006.8

(普通高等教育“十一五”国家级规划教材)

ISBN 7-5021-5555-4

I. 石…

II. ①王…②张…

III. 石油化工—化工仪表—自动控制系统—高等学校: 技术学校—教材

IV. TQ056

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 079704 号

出版发行: 石油工业出版社

(北京安定门外安华里 2 区 1 号 100011)

网 址: www.petropub.com.cn

发行部: (010) 64210392

经 销: 全国新华书店

印 刷: 石油工业出版社印刷厂

2006 年 8 月第 1 版 2006 年 8 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本: 1/16 印张: 15.75

字数: 400 千字 印数: 1—2000 册

定价: 22.00 元

(如出现印装质量问题, 我社发行部负责调换)

版权所有, 翻印必究

前 言

为适应石油高职高专院校石油钻井、采油、储运、炼制、化工、燃气输配等石油类各专业的仪表自动化教学,根据石油工业的特点,针对上、下游两类不同的专业,石油工业出版社组织编写了《钻采仪表及自动化》和《石油仪表及自动化》教材。本教材适用于高职高专石油储运、炼制、化工、燃气输配等专业的仪表自动化教学,也可以延伸至轻工、热电、供热等专业。

本教材力图适应高职高专职业教育的培养目标,突出高等职业教育特点,以反映典型性、针对性、实用性、先进性的原则,按仪表功能组织教材,介绍目前国内常用的检测、控制仪表,反映当今最新技术动态。内容设置从本行业职业的需要出发,以应用为目的、够用为原则,适当拓宽知识范围,尽量照顾石油工业下游行业各专业的需要,较系统全面地介绍了常用测量仪表、控制仪表和自动控制系统的基本知识。

本教材内容力求深入浅出,着眼于为实际应用服务,重视仪表及自控系统的应用知识。教材给出了部分仪表外形图、实物图片等,以配合实验和技能训练,增强学生的感性认识。

为便于学习,每章末附有习题与思考题,以帮助读者学习时练习与参考。

全书按总学时72学时编写,各学校可根据专业与学时情况,适当选择、增减教学内容。

本书编写分工如下:绪论、第三章、第六章由山东胜利职业学院王克华、姜月红(第三章第五节)、于洪庆(第六章第六节)编写,第一章、第四章由渤海石油职业学院王伟华编写,第二章由大庆职业技术学院张晔(第一、三节)、白术波(第二、四节)编写,第五章由天津石油职业技术学院解晓飞编写,第七章、第十章分别由重庆科技学院张其敏、严宏东编写,第八章、第九章由大庆石油学院张继峰、刘文龙编写,第十一章、第十二章由河北石油职业技术学院王晖、杨文川编写。

本书由王克华、张继峰任主编,张其敏、王伟华、王晖任副主编。全书由辜忠涛主审,并重新编写了第十二章第六节,在此深表感谢。

由于作者水平有限,书中错误、不妥之处在所难免,恳请读者批评指正。

编者

2006年2月

目 录

绪论	1
第一章 测量的基本知识	3
第一节 测量过程及测量误差	3
第二节 测量仪表的品质指标	4
第三节 测量仪表的分类与组成	7
习题与思考题	9
第二章 压力测量	10
第一节 概述	10
第二节 弹性式压力计	11
第三节 电气式压力计	13
第四节 压力计的选择、校验和安装	19
习题与思考题	24
第三章 流量测量	25
第一节 概述	25
第二节 差压式流量计	26
第三节 转子流量计	33
第四节 容积式流量计	38
第五节 其他流量计	44
第六节 流量计的校验	59
习题与思考题	61
第四章 液位测量	62
第一节 概述	62
第二节 浮力式液位计	65
第三节 静压式液位计	69
第四节 其他物位测量仪表	72
第五节 油水界面测量	77
习题与思考题	80
第五章 温度测量	82
第一节 概述	82
第二节 膨胀式温度计	83
第三节 热电偶温度计	86
第四节 热电阻温度计	92
第五节 数字温度显示仪表	94

习题与思考题	97
第六章 分析仪表	99
第一节 原油含水分析仪	99
第二节 振动管式密度计	107
第三节 烟气分析仪	110
第四节 色谱分析仪	115
第五节 危险气体报警仪	120
第六节 含油污水分析仪	125
习题与思考题	127
第七章 自动控制系统的基本概念	129
第一节 自动控制系统概述	129
第二节 自动控制系统的过渡过程及品质指标	132
第三节 被控对象的特性	135
第四节 基本控制规律	139
习题与思考题	146
第八章 自动调节仪表	147
第一节 调节仪表的作用与分类	147
第二节 自力式压力调节器	148
第三节 DDZ-Ⅲ型电动调节器	150
第四节 数字调节器	156
习题与思考题	168
第九章 执行器	169
第一节 电动执行器	169
第二节 气动执行器	174
第三节 电—气转换器与阀门定位器	181
习题与思考题	184
第十章 基本控制系统	185
第一节 被控变量与操纵变量的选择	185
第二节 调节器控制规律的选择	187
第三节 调节器参数的工程整定	189
第四节 调节系统的投运	192
习题与思考题	195
第十一章 复杂控制系统	196
第一节 串级控制系统	196
第二节 均匀控制系统	203
第三节 比值控制系统	205
第四节 前馈控制系统	206
第五节 分程控制系统	209
习题与思考题	211

第十二章 计算机控制系统	213
第一节 概述	213
第二节 计算机控制系统的基本组成	214
第三节 计算机在控制中的典型应用方式	216
第四节 监测控制与数据采集 (SCADA) 系统	219
第五节 集散控制系统	224
第六节 现场总线控制系统	229
习题与思考题	234
附录	235
附录一 常用热电偶分度表	235
附录二 常用热电阻分度表	241
参考文献	244

绪 论

石油开采、储运、炼制、化工生产过程中，所处理的介质一般是原油、成品油、天然气及伴生污水等流体。这些流体从油、气井中采出后，经过接转站汇集、集输联合站进行初步分离与净化，再经长输管道送往炼油厂和化工厂，进行精细分馏或其他化学处理。所有这个过程，油、气、水的处理往往是在密闭的设备、管道中连续进行的。只有借助于测量仪表与自动化装置进行检测和控制，才能正确地指导生产操作，监控设备运行。由于生产规模的不断扩大、需要测控的工艺参数增多，只靠人工操作已经无法适应现代工业生产的要求。为了确保安全生产，提高生产效率，改善劳动条件，必须把生产中的各项工艺参数控制在最佳值，使生产设备在最佳状态下自动地运行，即实现生产过程的自动化。石油储运、集输与加工过程的自动化均属于生产过程自动化的范畴。

一、生产过程自动化的概念

所谓生产过程自动化，就是在生产过程中，采用自动化仪表及装置，来检测、控制生产过程中的工艺参数，以代替操作人员的直接操作。这种用自动化仪表来控制生产过程的方法，就称为生产过程自动化。

自动化仪表与自动化技术在石油、石化行业得到了广泛的应用。从沙漠腹地无人值守的集输泵站，到海上采油平台的自动控制；从长输管线远程联网控制，到炼油厂、化工厂的大型自动化系统的应用，仪表、自动化已成为生产过程中必不可少的重要技术手段。工业生产对仪表自动化的依赖日益加重，特别是计算机技术、通信技术、微电子技术自动化领域中的应用，提高了自动化系统和仪表的性能，提供了更有效的控制手段。

因此，对于从事石油储运、炼制、化工等方面的技术人员，除了必须深入了解和熟悉生产工艺外，还必须学习和掌握自动化仪表方面的知识。这对于控制和管理工业生产过程是十分必要的。

二、自动化仪表分类

石油工业用自动化仪表种类繁多。一般分类如下：

(1) 按仪表使用能源分类，可分为电动仪表、气动仪表和自力式仪表。它们分别使用电、压缩空气及被测介质自身能量作动力。

(2) 按测量参数分类，可分为化工测量仪表（测量压力、物位、流量、温度等参数），电工测量仪表（测量电压、电流等参数），成分分析仪表等等。

(3) 按仪表在自动调节系统中的作用分类，可分为变送器（用于参数的检测与信号的转换及传送），控制器、执行器（用于对参数的调节），显示记录仪等。

(4) 按仪表的组合方式分类，可分为基地式仪表和单元组合仪表。基地式仪表集变送、显示、调节各部分功能于一体，单独构成一个固定的控制系统。单元组合式仪表将变送、控制、显示等功能制成各自独立的仪表单元，各单元间用统一的输入输出信号相联系，可以根据实际需要选择某些单元进行适当的组合、搭配，组成各种测量系统或控制系统。单元组合仪表，有电动单元组合仪表及气动单元组合仪表两大类。

国产 QDZ 系列气动单元组合仪表，气源采用压力为 140kPa 的压缩空气，统一标准信号为 20~100kPa 的气压信号。国产 DDZ 系列 DDZ—II 型电动单元组合仪表，采用 220V 单相交流电源，统一标准信号为 0~10mA 直流电流；DDZ—III 型电动单元组合仪表，电源为 24V 直流电源，统一标准信号为 4~20mA 直流电流。

用于原油、天然气、污水及成品油的自动化仪表，有其专业特点和特殊性。对于原油，其特殊性在于其高粘度、低雷诺数，并且具有易燃、易爆、易凝、不透明等特点；对于油田污水，其特殊性在于它具有较强的腐蚀性，并且矿化度高、易结垢。成品油成分单纯、透明、无腐蚀性，要求测量精度高。对于天然气，其特殊性在于它的易燃易爆性，因此在选择、安装、使用仪表时，要特别注意仪表的适应性和防爆问题。

三、课程的性质、任务与要求

本课程为石油储运、炼制、化工专业的必修课。与物理学、电工及电子学、流体力学、机械原理、油气集输工程、化工工程等课程有密切联系，是一门综合性、实践性较强的专业技术课。通过本课程的学习，应能掌握常用测量仪表的基本结构与工作原理，了解仪表的特性、安装及应用特点，以便在实际生产过程中能正确选择、使用常用仪表，并具备简单仪表故障的分析、处理能力。同时，应熟悉自动控制系统的组成，了解自动化的基本知识，学会使用控制仪表，懂得自动控制系统的投运及参数整定方法，使仪表与自动化技术能够更好地在石油工业生产中发挥应有的作用。

第一章 测量的基本知识

第一节 测量过程及测量误差

一、测量的概念

测量就是用实验的方法，借助一定的仪器或设备把被测量与作为标准测量单位的已知量进行比较，求出两者的比值，从而得到被测量数值大小的过程。测量结果——测量值，包括被测量的大小、符号（正或负）及测量单位。

例如，我们要测量一段导线的长度，最简单的办法是用一把直尺与导线比试。导线在直尺上毫米刻度的倍数是多少，就表明它有多少毫米长。

实际上，所有参数的测量过程，都是将被测参数与其相应的测量单位进行比较的过程。而测量仪表就是实现这种比较的工具。

二、测量误差及处理

所谓误差，就是某一被测量的测量值与客观真实值之差。测量的目的是希望能正确地反映被测参数的真实值。但是，测量过程始终存在着各种各样因素的影响，测量结果不可能绝对准确，而只能尽量接近真实值。测量值与真实值之间始终存在着一定偏差，这一偏差称为测量误差。一个测量结果，只有当知道它的测量误差或指明其误差范围时，这种测量结果才有意义。

测量误差通常有两种表示方法，即绝对误差和相对误差。

绝对误差 e_a ：测量值 X 与“真实值” X_t 之间的代数差。即：

$$e_a = X - X_t \quad (1-1)$$

如前所述，由于测量值不能绝对准确地反映被测参数的真实值，真实值往往是无法知道的。实际测量过程中，一般是利用误差更小的标准仪表的指示值作为被测参数的真实值（称为约定真值）。

相对误差 E_r ：测量的绝对误差和“真实值”之比。即：

$$E_r = \frac{e_a}{X_t} \times 100\% \approx \frac{e_a}{X} \times 100\% \quad (1-2)$$

测量误差越小，说明测量结果的可信度越高。因此，求测量误差的目的就在于用来判断测量结果的可靠程度。

在测量过程中，测量误差按其产生的不同原因，可以分为系统误差、随机误差和疏忽误差三类。产生原因不同，有其不同的处理方法。

1. 系统误差

系统误差是在相同测量条件下，多次测量同一被测参数时，测量结果的误差大小与符号均保持不变或在条件变化时按某一确定规律变化的误差。系统误差一般是由于仪表本身性能

不完善、测量方法有缺陷或测量时外界条件变化等原因引起的。

必须指出，单纯地增加测量次数无法减少系统误差对测量结果的影响。但在找出产生误差的原因之后，便可通过对测量结果引入适当的修正值而加以消除。

2. 随机误差

随机误差是在相同测量条件下，对参数进行重复测量时，测量结果的误差大小与符号均不固定，且无一定规律的误差。产生随机误差的原因很复杂，是由许多微小变化的复杂因素共同作用的结果所致。

对单次测量来说，随机误差是没有任何规律的，既不可预测，也无法控制；但对于一系列重复测量结果来说，它的分布服从统计规律，产生正负误差的概率相等。因此，可以采取多次测量求算术平均值的方法减小随机误差，取此平均值作为最终的测量结果。

3. 疏忽误差

疏忽误差是测量结果显著偏离被测值的误差，没有任何规律可循。产生的主要原因是由于工作人员在读取或记录测量数据时的疏忽大意所造成的。

带有这类误差的测量结果毫无意义，因此在实际工作中，必须加强管理，精心操作，避免发生这类误差。

第二节 测量仪表的品质指标

一、精度

1. 引用误差

测量值的绝对误差 e_a 与测量仪表的量程 S_p 之比的百分数，称为引用误差。

$$E_q = \frac{e_a}{S_p} \times 100\% \quad (1-3)$$

式中， $S_p = X_{\max} - X_{\min}$ ，为仪表的量程，即仪表测量上限值 X_{\max} 与下限值 X_{\min} 之差。

显然，具有相同绝对误差的两台仪表，量程大的仪表的引用误差要小于量程小的仪表。引用误差可以表示测量仪表的可信程度。

2. 精确度

精确度（简称精度），反映正常使用条件下，描述仪表测量结果准确程度的一项综合性指标。其形式用最大引用误差去掉百分号表示。可用下式描述：

$$A_c = \frac{e_{\max}}{S_p} \times 100 \quad (1-4)$$

式中 A_c ——精度；

e_{\max} ——允许最大绝对误差。

允许最大绝对误差是在规定的工作条件下，仪表测量范围内各点测量误差允许最大值，为仪表的“基本误差”。与此对应的仪表的引用误差称为允许误差，即：

$$E_{q\max} = \frac{e_{\max}}{S_p} \times 100\% \quad (1-5)$$

3. 精度等级

精度等级是按国家统一规定的允许最大绝对误差大小而划分的。某一等级仪表，反映在正常情况下，仪表所允许具有的最大引用误差。例如：精度等级为1级的仪表，在测量范围内各点处的允许误差均不超过±1%。

目前，我国规定生产的仪表精度等级有：0.01、0.02、0.05、0.1、0.2、(0.25)、(0.4)、0.5、1.0、1.5、2.5等（括号内等级必要时采用）。下面举例说明如何确定仪表的精度等级。

例1 某压力测量仪表的测量范围为0~1000kPa，校验该表时得到的最大绝对误差为±8kPa，试确定该仪表的精度等级。

解：该仪表的精度为：

$$A_c = \frac{e_{\max}}{S_p} \times 100 = \frac{e_{\max}}{X_{\max} - X_{\min}} \times 100 = \frac{8}{1000 - 0} \times 100 = 0.8$$

由于国家规定的精度等级中没有0.8级仪表，而该仪表的精度又超过了0.5级仪表的允许误差，所以，这台仪表的精度等级应定为1.0级。

例2 某台测温仪表的测量范围为0~1000℃，根据工艺要求，温度指示值的误差不允许超过±7℃，试问应选择仪表的精度等级才能满足以上要求？

解：根据工艺要求，仪表精度应满足为：

$$A_c = \frac{e_{\max}}{S_p} \times 100 = \frac{7}{1000 - 0} \times 100 = 0.7$$

此值介于0.5级和1.0级之间，若选择精度等级为1.0级的仪表，其允许最大绝对误差为±10℃，这就超过了工艺要求的允许误差，故应选择0.5级的精度才能满足工艺要求。

由以上两个例子可以看出，根据仪表校验数据来确定仪表精度等级和根据工艺要求来选择仪表精度等级，要求是不同的。根据仪表校验数据来确定仪表精度等级时，仪表的精度等级值应选不小于由校验结果所计算的精度值；根据工艺要求来选择仪表精度等级时，仪表的精度等级值应不大于工艺要求所计算的精度值。

仪表的精度等级是衡量仪表质量优劣的重要指标之一，它反映了仪表的准确度和精密程度。仪表的精度等级一般用圈内数字等形式标注在仪表面板或铭牌上。

二、灵敏度及分辨率

1. 灵敏度

灵敏度反映了仪表示值变化相对于被测量变化的灵敏程度，一般用于模拟量仪表。它是指仪表输出增量与输入增量之比，常用仪表的输出变化量（例如指针的线位移或角位移）与引起此变化的被测量变化量之比来表示，即：

$$S = \frac{\Delta Y}{\Delta X} \quad (1-6)$$

式中 S——仪表的灵敏度；

ΔY ——仪表输出的变化量；

ΔX ——仪表输入的变化量。

测量仪表的灵敏度可以用增大仪表转换环节放大倍数的方法来提高。仪表灵敏度高，仪表示值读数精度可以提高。但是必须指出，仪表的性能指标主要取决于仪表的基本误差，如果想单纯地通过提高灵敏度来达到更准确的测量是不合理的。单纯增加灵敏度，反而会出现虚假的高精度现象。因此，通常规定仪表标尺刻度上的最小分格值不能小于仪表允许最大绝对误差值。

2. 分辨率

分辨率是指仪表可能检测到的被测信号最小变化的能力，也就是使仪表示值产生变化时的被测量的最小改变量。数字式仪表的分辨率是指仪表在最低量程上最末一位数字改变一个字所表示的物理量。例如：3½位数字式电压表，若在最低量程时满度值为1V，则该数字式电压表的分辨率为1mV。数字仪表能稳定显示的位数越多，则分辨率越高。

分辨率又称为灵敏限，是灵敏度的一种反映。一般说仪表的灵敏度高，则其分辨率同样也高。

三、变差

在外界条件不变的情况下，使用同一仪表对同一变量进行正、反行程（被测参数由小到大和由大到小）测量时，仪表指示值之间的差值，称为变差（又称回差）。即： $\Delta_h = | \text{正行程示值} - \text{反行程示值} |$ 。测量仪表的变差示意图见图1-1。

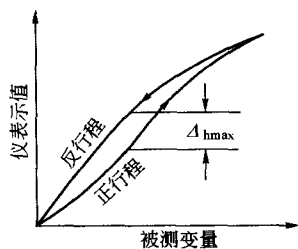


图1-1 测量仪表的变差

不同的测量点，变差的大小也会不同。为了便于与仪表的精度比较，变差的大小一般采用最大引用误差形式表示，即

$$E_{h_{\max}} = \frac{\Delta_{h_{\max}}}{S_p} \times 100\% \quad (1-7)$$

式中 $E_{h_{\max}}$ ——最大变差；

$\Delta_{h_{\max}}$ ——仪表的正、反行程指示值最大偏差值。

造成变差的原因很多，例如传动机构的间隙、运动部件的摩擦、弹性元件的弹性滞后的影响等。变差的大小反映了仪表的稳定性，要求仪表的变差不能超过精度等级所限定的允许误差。

四、动态特性

仪表的动态特性是指被测量随时间变化时，仪表指示值跟随被测量随时间变化的特性。仪表的动态特性反映了仪表对测量值的速度敏感性能。

仪表的动态性能指标，一般用被测量初始值为零，并作满量程阶跃变化时仪表表示值的时间反应参数来描述。

被测量作满量程阶跃变化时，仪表的动态特性如图1-2所示。仪表指示值在稳定值上下振荡波动，称之为欠阻尼特性，如图1-2(a)所示。仪表指示值慢慢增加，逐渐达到稳定值，称为过阻尼特性，如图1-2(b)所示。

对于欠阻尼特性，仪表的动态特性用上升时间 t_{rs} 、稳定时间 t_{st} 及过冲量 y_{os} 表示。图1-2(a)中，A一般为5%或10%，B一般为90%或95%，C一般为2%~5%。

对于过阻尼特性，仪表的动态特征用时间常数 T_{tc} 表示。 T_{tc} 等于被测量作满量程阶跃变化时，仪表指示值达到满量程的63.2%时所需时间。

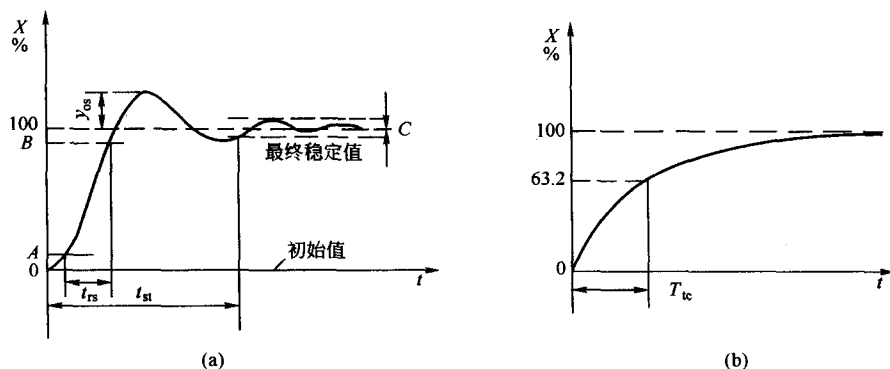


图 1-2 仪表的动态特性

第三节 测量仪表的分类与组成

一、测量仪表的分类

在石油化工生产中使用的测量仪表种类很多，分类方法也不尽相同，这里介绍几种常见的分类方法。

按所测参数的不同，可分成压力测量仪表、流量测量仪表、液位测量仪表、温度测量仪表和成分分析仪表等。

按仪表表示数方式的不同，可分为指示型仪表、记录型仪表、远传型仪表等。

按仪表能源的不同，可分为电动仪表、气动仪表、自力式仪表等。

二、测量仪表的基本构成

测量仪表一般均由检测部分、变换部分（包括变送）和显示部分三部分组成。检测部分一般与被测介质直接接触，并将被测参数加以转换；变换部分大多仅起到信号能量的变换作用；显示部分一般是将被测参数的测量值指示、记录下来。

如果检测部分将被测量转换成与之对应的便于传送的信号，如电压、电流、电阻、频率等，一般称之为传感器。由于传感器的输出信号种类很多，而且信号往往很微弱，一般都需要变换环节的进一步处理，把传感器的输出信号转换成如 $0\sim 10\text{mA}$ 、 $4\sim 20\text{mA}$ 等标准统一的模拟量信号或者满足特定标准的数字量信号，这种检测仪表称变送器。变送器的输出信号送到显示装置以指针、数字、曲线等形式把被测量显示出来，或者送到控制器对其实现控制。

检测、变换和显示部分可以是三个独立的部分，也可以有机地结合在一起成为一体。有一点需要指出的是：在目前的检测和控制系统中，传统的显示仪表更多地被数码显示仪表、光柱显示仪表、无纸记录仪、计算机监控系统所替代。

三、安全防爆基本知识

在石油、化工生产企业广泛存在着各种易燃、易爆气体或蒸气，在这些场所安装的仪表需要具有防爆性能，因此了解仪表和自动控制系统的防爆知识具有重大的现实意义。

1. 危险场所的划分

我国在 1987 年公布的《中华人民共和国爆炸危险场所电气安全规程（试行）》将爆炸危险场所划分为两类五级。

第一类场所指爆炸性气体或可燃蒸气与空气混合形成爆炸性气体混合物的场所。按其危险程度的大小分为三个区域等级。

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

1 级区域（1 区）：在正常情况下，爆炸性气体混合物有可能出现的场所。

2 级区域（2 区）：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短时间出现的场所。

注：正常情况是指设备的正常启动、停止、正常运行和维修；不正常情况是指可能发生设备故障或误操作。

第二类场所指爆炸性粉尘或易燃纤维与空气混合形成爆炸性混合物的场所。按其危险程度的大小分为两个区域等级。

10 级区域（10 区）：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、短时间频繁地出现或长时间存在的场所。

11 级区域（11 区）：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。

2. 爆炸性物质的分类、分级与分组

（1）分类。爆炸性物质可分为三类：

I 类——矿井甲烷；

II 类——爆炸性气体、蒸气；

III 类——爆炸性粉尘、纤维。

（2）分级与分组。爆炸性气体在标准试验条件下，按其最大试验安全间隙和最小点燃电流比分级。I 级：甲烷；II A 级：汽油等；II B 级：环氧乙烷等；II C 级：氢气、乙炔等。其中 II C 级最危险。

按其引燃温度分成六组，单位为℃。T1 组： $T > 450$ ；T2 组： $450 > T > 300$ ；T3 组： $300 > T > 200$ ；T4 组： $200 > T > 135$ ；T5 组： $135 > T > 100$ ；T6 组： $100 > T > 85$ 。其中 T6 组最易引燃。

3. 仪表及系统的防爆措施

（1）仪表防爆措施。

自动化仪表属于低压电气设备，因此在危险场所使用的自动化仪表要按电气设备防爆规程管理。规程规定，防爆电气设备可制成隔爆型、本质安全型等 10 种结构类型。其设备的分类、分级、分组与爆炸性物质的分类、分级、分组方法相同，其等级参数及符号也相同，其中温度等级是按最高表面温度确定，对隔爆型指外壳表面温度，其余各类型指可能与爆炸性混合物接触的表面的温度。

自动化仪表防爆结构主要有两种类型：

隔爆型——标志“d”。在结构上把仪表电路和接线端子全部放在防爆表壳内，使表壳有足够的强度和良好的密封性；即使仪表内部产生火花，也不会引起仪表外部的爆炸性混合物爆炸。

本质安全型——标志“i”。仪表在正常工作状态和事故状态下所产生的火花及达到的温度，均不足以引燃、引爆周围的危险混合物。

例如：安装在汽油泵房的仪表的防爆措施，已知汽油属于ⅡA级，温度组别属T3组。仪表的防爆措施为：可选具有ExdⅡAT3防爆性能的仪表或高于其防爆性能的仪表。Ex为防爆标志。

(2) 系统的防爆措施。

安全防爆系统如图1-3所示。它不仅在危险场所使用本质安全型仪表，而且在控制室仪表与危险场所仪表之间设置了安全栅，这样构成的系统就实现了本质安全防爆的要求。

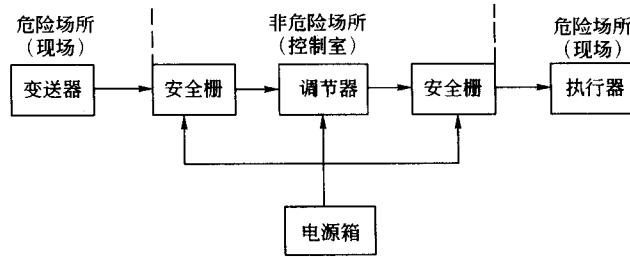


图 1-3 安全防爆系统

安全栅的作用是作为控制室非本质安全仪表与现场本质安全仪表之间的隔离设备，一方面传输信号，另一方面控制流入危险场所的能量（电压、电流）在爆炸性混合物的点火能量以下，以确保系统的安全火花性能。

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型防爆系统了。

◇ 习题与思考题 ◇

- 1-1 什么是测量？测量仪表由哪几部分组成？
- 1-2 仪表的精度和灵敏度之间有何联系与区别？
- 1-3 按误差出现的规律，误差可分为哪几种？各有什么特点？产生的原因是什么？
- 1-4 测量仪表有哪些品质指标？各反映仪表的什么性能？
- 1-5 某检测系统根据工艺设计要求，需要选择一个量程为 $0\sim 100\text{ m}^3/\text{h}$ 的流量计，流量测量误差要求小于 $\pm 0.95\text{ m}^3/\text{h}$ ，试问选择何种精度等级的流量计才能满足要求？
- 1-6 有一个量程为 $20\sim 100\text{ kPa}$ 、精度等级为 0.5 级的差压变送器，在定期校验时发现该仪表在整个量程范围内的绝对误差在 $-0.5\sim +0.4\text{ kPa}$ 范围内变化，试问该变送器能否继续使用？如果降级使用时，应定为精度多少级？
- 1-7 危险场所和爆炸物是如何划分的？用什么样的方法解决系统的安全防爆问题？

第二章 压力测量

在石油化工生产中，压力往往是决定安全生产、产品质量和生产效率的重要因素。如分离器、锅炉等承压设备必须在一定的压力下工作，其压力超过额定值时便有可能发生爆炸；高压聚乙烯要在 150MPa 或更高的压力下才能完成聚合；炼油厂减压蒸馏则要在比大气压力低很多的负压条件下才能进行。可见，压力的测量与控制在生产过程中是十分重要的。

第一节 概 述

一、压力

工程上说的压力是指介质（液体或气体）垂直均匀地作用于单位面积上的力，即物理学中的压强。可由下式表示：

$$p = \frac{F}{S} \quad (2-1)$$

式中 p ——压力；
 F ——垂直作用力；
 S ——受力面积。

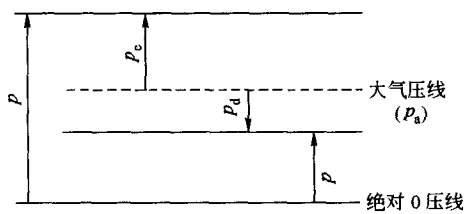


图 2-1 绝对压力、表压力与负压力的关系

压力的形式包括绝对压力、正压力（习惯上称表压力）、负压力（习惯上称真空度）和差压。绝对压力与表压力、负压力之间的关系见图 2-1。

表压力是绝对压力和大气压力之差，即：

$$p_e = p - p_a \quad (2-2)$$

式中 p_e ——表压力；
 p ——绝对压力；
 p_a ——大气压力。

当被测压力低于大气压时，常用负压力来表示，它是大气压力和绝对压力之差，即：

$$p_d = p_a - p \quad (2-3)$$

式中 p_d ——负压力。

需要说明的是，由于各种工艺设备和测量仪表通常是处于大气之中，本身就承受着大气压力，所以工程上经常用表压或负压力表示压力的大小。如无特殊说明，以后提到的压力均指表压或负压力。

二、压力的单位

根据国际单位制（代号为 SI）规定，压力的单位是帕斯卡，简称帕（Pa）。当 F 的单位取牛顿（N）， S 的单位取平方米（ m^2 ）时， $1Pa = 1N/m^2$ 。帕所表示的单位较小，工程上使用更多的是兆帕（MPa）。它们之间的换算关系为

$$1MPa = 10^6 Pa \quad (2-4)$$