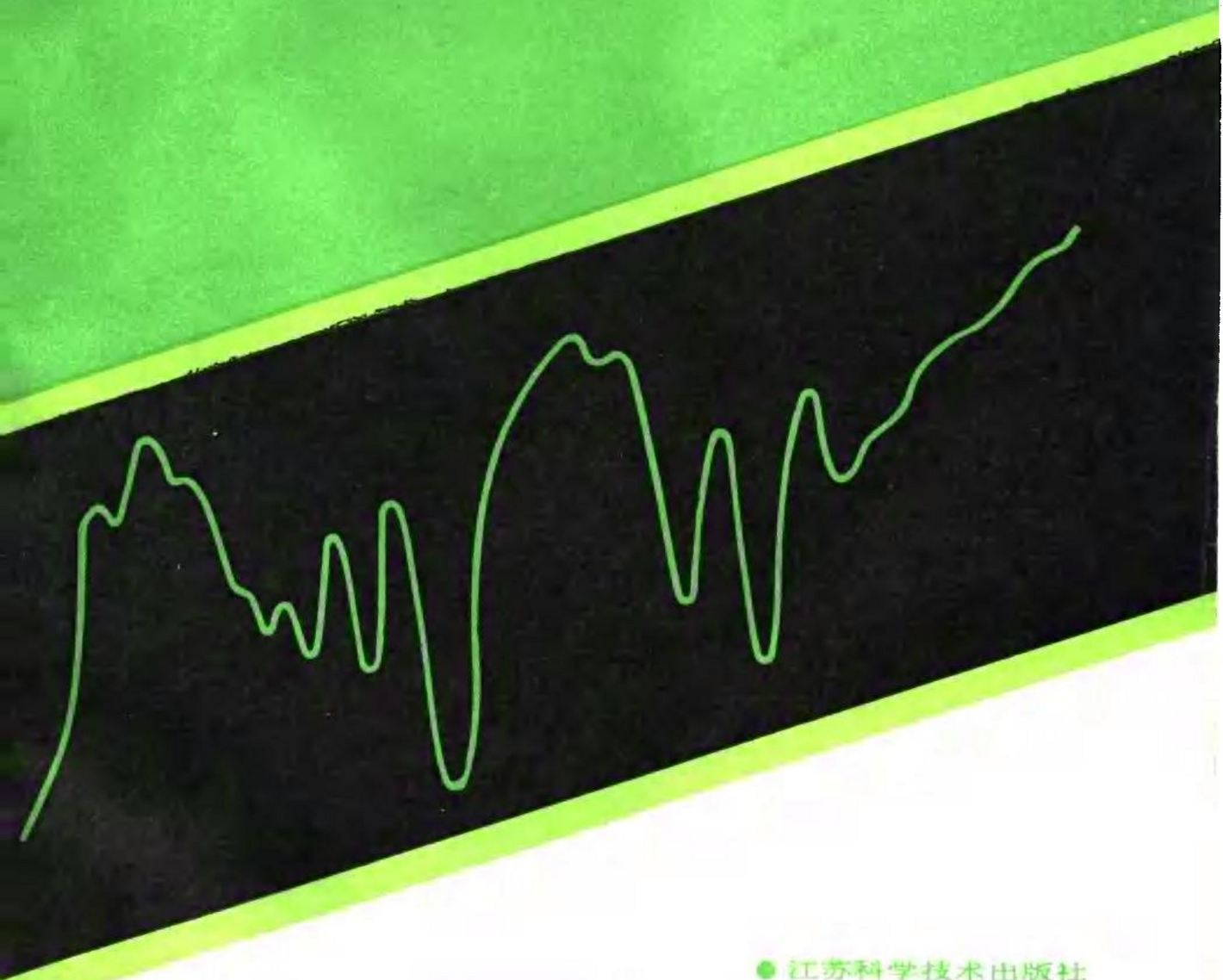


实用化工测量 与成分分析仪表



● 江苏科学技术出版社

SHIYONG
HUAGONG CELIANG
YU CHENG FEN FENXI YIBIAO

实用化工测量与成分分析仪表

成钦炳 周协海等

出版：江苏科学技术出版社

发行：江苏省新华书店

印刷：苏州印刷厂

开本 787×1092 毫米 1/16 印张 27.25 插页 4 字数 666,000

1986 年 12 月第 1 版 1986 年 12 月第 1 次印刷

印数 1—3,410 册

书号 15196·204 定价 4.80 元

责任编辑 黄元森

编 者 的 话

《实用化工测量与成分分析仪表》一书是供从事化工生产和化工仪表维护人员，学习仪表知识、掌握使用方法和维护修理技术用的。

全书共分五编，第一至第四编，分别介绍压力、流量、液位和温度的测量仪表，第五编介绍各种成分分析仪表。在编写中，除阐述一些常用仪表的原理、结构外，还介绍了仪表的选用、安装、维护修理和校验。对国内外某些新型仪表也作了适当的介绍。

参加本书编写的有天津大学化工分校周协海(绪言、第一、二、三编)，南化公司磷肥厂沈介初(第四编)，南化公司研究院成钦炳、梅基强(第五编)，最后由成钦炳、周协海担任全书的统一整理工作。

本书的编写和出版，曾得到多方面的支持和帮助，其中南京化工学院姚虎卿同志，原南京第二石油化工厂吴采婴同志，对本书的编写提出了宝贵意见。南京炼油厂郑保山同志对工业色谱一章，进行了详细审阅和指导，并作了修改和补充。南化公司氮肥厂仪表车间宋礼明同志，对本书有关仪表的安装、维护及校验进行了补充。南化公司研究院自动化室主任工程师、《化工自动化仪表》杂志编委吕学敏高级工程师，对本书作了重点审阅和指导，并写了前言，在此一并致谢。

1977年6月

序 言

一本书在开头的时候,总要说几句话,或者说明写书的缘由,或者简单介绍内容,或者阐述书中特点,或者约略申述要旨等,目的是为读者在阅读正文时提供一些方便。这种开头的几句话,按照习惯,叫做序言。我在读过这本《实用化工测量与成分分析仪表》的原稿以后,也在此开个头,写上几句。

《实用化工测量与成分分析仪表》一书用深入浅出的笔调,溶化专门的理论,使广大读者,不必花很大的力气就易于接受。这种写法,在目前有关仪表的出版物中,还不多见。作者由工厂、化工专业院校和化工研究院的有关同志组成,这就使得在编写上既重视基础理论,又立足于实践;既讲透难题,又注意通俗。因此,这本书是值得一读的。

书中,从开头到结束,都围绕着化工生产所常用的仪表来写。我们知道,化工生产过程一般是在密闭容器和管道中进行的,有的是在高压、高温、深冷的情况下连续进行;而且不少介质有毒、易燃、易爆、有腐蚀性,因此测量生产过程的各项参数,必须要用仪表。从化工生产的高效与正常进行来讲,也少不了仪表自动化。当然需要测量的控制参数是多种多样的,但主要的是热工量与成分。而此书正是介绍这两类测试仪表的。书中所列某些仪表,有些虽嫌不够新颖,但却常用,对于目前未用新表的工厂,尚有一定的参考价值。

我国自己生产的化工仪表最早出现在四十年代。那时的仪表体积大,精度低。但随着科学技术的不断发展和电子技术的不断进步,在五十年代就出现了用 $0\sim 10\text{mA}$ 、 $4\sim 20\text{mA}$ 直流信号的电动仪表,从而实现了集中控制,并使仪表体积大大缩小,可靠性和精度也有相应提高。六十年代以后,随着半导体和集成电路的进一步发展,仪表趋向于小体积、高性能,并实现了计算机作数据处理的新的自动化方案。成分仪表的发展也颇迅速,如氧表,随着科学技术的发展,由热化学氧、磁氧而发展到七十年代的氧化锆测氧仪,这方面书中也作了应有的介绍。

为了大力提高化工生产水平,化工仪表还有大量工作要做,许多课题还待进一步探讨解决。《实用化工测量与成分分析仪表》对此虽然也起到一定的作用,但比诸需要,仍有差距,所以在本书出版以后,我期待有更多更好的新作问世,在科学的春天里,这种愿望的实现,肯定是不远了!

吕学敏

目 录

绪 论

- 第一节 化工仪表在生产中的作用..... 1
- 第二节 化工仪表的组成和品质..... 1
- 第三节 测量仪表所用的术语..... 2

第一编 压力测量

- 第一章 压力的基本概念..... 3
- 第二章 液柱压力计..... 6
 - 第一节 U形管压力计..... 6
 - 第二节 微差压差计..... 7
 - 第三节 单管压力计..... 8
 - 第四节 斜管压力计..... 8
 - 第五节 浮子式差压计..... 10
 - 第六节 环管压力计..... 11
 - 第七节 钟罩压差计..... 13
 - 第八节 液柱压力计的使用和维护..... 14
- 第三章 弹性压力计..... 15
 - 第一节 弹簧管压力计..... 15
 - 第二节 螺旋形弹簧管压力计..... 17
 - 第三节 薄膜式压力计..... 18
 - 第四节 电接点压力计..... 20
- 第四章 远传压力计..... 21
 - 第一节 霍尔片式远传压力表..... 21
 - 第二节 电阻式远传压力表..... 22
- 第五章 电气压力计..... 23
 - 第一节 电容式压力计..... 23
 - 第二节 压电式压力计..... 24
- 第六章 活塞式压力计..... 26
 - 第一节 测量部分..... 26
 - 第二节 压力发生部分..... 26
- 第七章 压力表的选用、安装、维护及校验..... 27
 - 第一节 压力计的选用..... 27

- 第二节 压力计的安装..... 27
- 第三节 压力计的维护..... 31
- 第四节 压力计的校验..... 31

第二编 流量测量

- 第一章 流量测量的基本知识..... 34
 - 第一节 流量的基本概念和单位..... 34
 - 第二节 流量计的分类..... 35
- 第二章 节流式流量计..... 36
 - 第一节 节流装置..... 36
 - 第二节 与节流装置配套的差压计..... 50
 - 第三节 节流式流量计的选用、维护、安装和校验..... 53
- 第三章 靶式流量计..... 58
 - 第一节 靶式流量计的工作原理..... 58
 - 第二节 靶上所受推力与流量的关系..... 58
 - 第三节 靶式流量计的使用、维护、安装和校验..... 60
- 第四章 椭圆齿轮流量计..... 61
 - 第一节 椭圆齿轮流量计的工作原理..... 61
 - 第二节 椭圆齿轮流量计的特点和使用..... 62
- 第五章 转子流量计..... 63
 - 第一节 转子流量计的工作原理..... 63
 - 第二节 流量方程式..... 63
 - 第三节 转子流量计的刻度校正..... 65
 - 第四节 远传式转子流量计..... 69
 - 第五节 转子流量计的选用、维护、安装和校验..... 71
- 第六章 电磁流量计..... 74
 - 第一节 电磁流量计的工作原理..... 74
 - 第二节 电磁流量计的用途及特性..... 75
 - 第三节 电磁流量计的使用、维护、安装和校验..... 76

第三编 物位测量

第一章 玻璃液位计.....80

第一节 玻璃管液位计.....80

第二节 玻璃板液位计.....80

第三节 玻璃液位计的使用、维护和安装.....82

第二章 压力式液位计.....84

第一节 压力式液位计.....84

第二节 隔膜式静压液位计.....84

第三节 压力式液位计的使用、维护和安装.....84

第四节 吹气式液位计.....85

第五节 吹气式液位计的使用和特点.....86

第六节 压力式报警器.....86

第三章 差压式液位计.....88

第一节 差压式液位计.....88

第二节 差压变送器的结构原理.....88

第三节 差压变送器测量液面时的迁移问题.....89

第四节 差压式液位计的使用、维护和安装.....91

第四章 浮力式液位计.....93

第一节 浮标液位计.....93

第二节 浮标式遥测液位计.....93

第三节 带有反馈的浮标液位计.....94

第四节 扭力管沉筒式液位计.....95

第五章 电容式物位仪表.....97

第一节 电容式物位仪表的基本原理.....97

第二节 测量电容量的方法.....98

第三节 电容式物位计的使用和特点.....99

第六章 声波式物位仪表.....100

第一节 声波式物位仪表的基本原理.....100

第二节 超声波液位计.....100

第三节 超声波物位计的使用和特点.....101

第七章 放射性物位仪表.....102

第一节 放射性物位仪表的基本原理.....102

第二节 射线探测器(接受器).....103

第三节 放射性测量物位的方法.....103

第四节 放射性同位素测厚仪.....105

第五节 放射性物位仪表的使用与防护.....105

第四编 温度测量

第一章 基本概念.....109

第一节 温度.....109

第二节 温标的基本概念及种类.....109

第三节 国际实用温标.....110

第四节 测温仪表的类型和选用原则.....112

第二章 常用测温仪表.....114

第一节 膨胀式温度计.....114

第二节 压力表式温度计.....118

第三节 热电偶.....119

第四节 热电阻.....129

第五节 接触式温度计的安装.....134

第六节 辐射高温计.....135

第三章 温度测量显示仪表.....143

第一节 动圈式指示表.....143

第二节 电子电位差计.....154

第三节 电子平衡电桥.....182

第五编 成分分析仪表

第一章 氧分析器.....187

第一节 热磁式氧分析器.....187

第二节 磁力机械式氧分析器.....195

第三节 浓差电池氧分析器.....197

第四节 热化学式氧分析器.....204

第二章 热导式气体分析器.....211

第一节 热导式分析器的工作原理.....212

第二节 测量电路.....215

第三节 热导式分析器的结构.....220

第四节 热导式氢分析器的现场校正.....223

第三章 红外线气体分析器.....225

第一节 红外线气体分析器的测量原理.....225

第二节 仪器各部件的结构和功用.....229

第三节 红外线气体分析器的电气线路.....238

第四节 红外线气体分析器的调校···	257	第六节 差热式湿度计·····	334
第四章 工业光电比色计 ·····	263	第七节 石英晶体振子湿度计·····	335
第一节 基本原理及应用·····	263	第八章 自动密度计 ·····	336
第二节 基本部件·····	264	第一节 定义·····	336
第三节 仪器结构·····	265	第二节 浮筒式密度计·····	336
第四节 电路与仪器的使用·····	268	第三节 天平式密度计·····	339
第五章 电导式成分分析器 ·····	271	第四节 放射性同位素密度计·····	340
第一节 基本原理·····	271	第五节 应用实例——密度式硫酸 浓度计·····	343
第二节 电导池的结构和温度的影响	276	第九章 工业极谱仪 ·····	347
第三节 电导式微量 CO、CO ₂ 自动分 析器·····	278	第一节 概述·····	347
第四节 DD-5 型电导式硫酸浓度计 ·····	299	第二节 原理与结构·····	347
第五节 电磁浓度计·····	304	第三节 安装与接线·····	351
第六章 工业 pH 计 ·····	314	第四节 使用与维护·····	352
第一节 pH 的定义·····	314	第十章 工业色谱仪 ·····	354
第二节 缓冲溶液·····	315	第一节 色谱仪的原理·····	354
第三节 pH 计测量原理·····	316	第二节 工业色谱仪的分类·····	355
第四节 参比电极·····	317	第三节 基本理论简介·····	356
第五节 测量电极·····	318	第四节 检测器·····	358
第六节 工业酸度计·····	319	第五节 工业色谱仪的组成·····	363
第七章 自动湿度计 ·····	329	第六节 安装·····	410
第一节 湿度的定义·····	329	第七节 分析条件的决定·····	411
第二节 实验室湿度测量·····	330	第八节 HZ3111、GS-1 型工业色谱仪 的开机、调整和故障处理 ·····	416
第三节 电解式湿度计·····	331	第九节 工业色谱仪的应用·····	426
第四节 电阻式湿度计·····	333		
第五节 电容式湿度计·····	333		

绪 论

第一节 化工仪表在生产中的作用

在化工生产中，人们对工艺过程规定了许多操作条件和指标。严格地遵守和保持这些操作条件和指标，是保证生产顺利进行和产品质量合格的关键。

化工仪表是用来检查测量表征化工生产过程进行情况的诸参数的工具，它是现代化工生产的“耳目”。化工生产过程的自动化，是化学工业发展的方向之一，而自动化是同生产中广泛采用仪表分不开的。自动化的发展过程，首先是在生产中应用少量的仪表，进而发展到集中检查测量，随后是生产过程的部分自动化，最后是生产过程的全自动化，不论部分或全部自动化，其自动化装置都是以仪表测量的数据为依据的。根据检测数据，发出指令，通过调节机构对设备进行调节，因此，仪表是发展自动化的基础，没有仪表就没有自动化。

为了正确地发挥仪表在生产过程中的作用，从事化工生产的工作人员，必须了解化工生产中常用的各种典型仪表的工作原理、构造、特性、应用范围、以及选择、维护和安装等基本知识，逐步研究和掌握自动化技术，以达到熟练使用这些仪表和维修这些仪表的目的。

第二节 化工仪表的组成和品质

一、仪表的组成

测量仪表一般由一次仪表，二次仪表和连接件三个独立的部件组成。

一次仪表是测量仪表的敏感部分，通常接在测量处，直接感受被测参数的信号；二次仪表是测量仪表的指示部分，它指出被测量的数值，通常有一个单独的外壳，装在专设的表盘上；连接件则是测量仪表的传送部分，通过导管和导线，将信号从一次仪表传送到二次仪表。

一次仪表常带有发送器的附加装置，将所接受的信号，转变为电量，再通过导线，传给二次仪表，有些自动测量仪表，还设有“声”“光”信号装置，当被测参数偏离允许值时，能进行自动调节。

二、仪表的品质

衡量仪表质量好坏的标准，通常叫做仪表的品质。测量仪表的品质指标有以下几项。

1. 绝对误差与相对误差

绝对误差是仪表读数与所测量的实际数值之间的差值，也称为指示误差。

绝对误差有正负之分，例如有一支温度计，指示值为105℃，而实际温度值为100℃，则仪表的绝对误差为+5℃，即绝对误差=仪表读数-实际温度差。

相对误差也称基本误差，就是仪表在正常条件下所产生的误差，它是绝对误差与仪表刻度上限和下限之差的比值，用百分率表示

$$\text{相对误差} = \frac{\text{绝对误差}}{\text{仪表上限} - \text{仪表下限}} \times 100\%$$

例如有一支温度计，绝对误差为±5℃，最大测量范围为0~1000℃，则仪表的相对误差为

$$\frac{\pm 5^\circ\text{C}}{1000^\circ\text{C} - 0^\circ\text{C}} \times 100\% = \pm 0.5\%$$

相对误差一般用来评定仪表的质量和精确度。如上述温度计,相对误差为 $\pm 0.5\%$,即表明其精确度为0.5级,反之仪表的精确度为0.5级,则它的相对误差就是0.5%。由此可见,精确度和相对误差都是标志仪表测量的准确程度的。精确度高的仪表,相对误差小。

2. 灵敏度

灵敏度是指仪表对被测参数灵敏的程度。仪表的灵敏度,用仪表指针产生的直线位移或角位移 $\Delta\alpha$ 与引起此位移的被测参数的变化量 Δx 之比来表示,即

$$\text{灵敏度} = \frac{\Delta\alpha}{\Delta x}$$

例如两合同样压力计,都通入一微小的压力,其中一台指针不动,另一台指针动,则后者比前者灵敏。对任何一种测量仪表来说,使仪表指针开始转动的信号值愈小,仪表的灵敏度就越高。

3. 稳定性

稳定性是指仪表稳定的程度。在同样条件下,用仪表对某一被测参数进行多次测量,每次测量的结果相差越小,则表明仪表的稳定性越好。通常仪表的稳定性用变差来表示。

变差就是指仪表在同样的外界条件下,当被测量由小增大(正行程),或由大减小(反行程)到达同一标尺刻度点时,仪表指针所示读数的最大差值。由于仪表机构的摩擦、间隙和弹性后效*,会使仪表在重复测量同一数值时,仪表指针指示出不同的读数。例如有一精度为1.5级,测量范围为0~10公斤/厘米²的压力表,在校验5公斤/厘米²这一刻度点时,当压力作正行程时,指针读数是5.05公斤/厘米²,当压力作反行程时,指针的读数是4.95公斤/厘米²,则仪表的变差为

$$5.05 - 4.95 = 0.1 \text{ 公斤/厘米}^2$$

由上可知,变差小的仪表稳定性高。

此外,要求仪表反应迅速,也是仪表品质指标之一。当被测参数变化,仪表反应越迅速,正确指示出被测参数数值所需的时间越短,越有利于及时了解并调节生产过程。

第三节 测量仪表所用的术语

一、刻度标尺

沿着标尺上分布的刻度的总和。这些刻度表示许多与被测参数相对应的一系列数值。

二、读数

仪表在测量时,按读出装置或记录纸所记录的数值,也包括用计算方法获得的数值。

三、仪表的指示值

根据读数而确定的测量数值,它是用单位表示的名数,而读数则是单纯的数字。

四、精确度

精确度是衡量仪表指示准确性的程度。精确度常称为准确度,有时也简称为精度。精确度等级常称为精度等级,它用一系列数字表示。

化工仪表的精度等级,常见的有:0.005、0.02、0.05、0.1、0.2、0.5、1.0、1.5、2.5、4.0等十个级别。前六个等级,常用于计量单位和实验室,后四个等级常用于工业生产。此外,在压力计中,还有精度等级为0.35级的弹簧管压力计和真空计等。

* 弹性后效——当弹性元件所受压力升高(或降低)到某一值时,弹性变形并不能同时到达相应值,而要经过一段时间后,才能达到应有的变形,这种现象叫弹性后效,弹性后效有时长达几十分钟。

第一编 压 力 测 量

第一章 压力的基本概念

化工生产是在各种不同的压力下进行的。有的生产过程需要高压，例如氢气和氮气是在320个大气压下反应合成氨的；而有的生产过程则要求在低压，甚至在真空条件下进行，例如炼油厂的减压蒸馏，就是在比大气压低几百毫米水银柱的真空度下进行的。所以压力是化学反应的主要参数之一。

一、压力的基本概念

垂直而均匀地作用在单位面积上的力叫做压力*。压力的大小由两个因素决定，即受力的面积和垂直作用力的大小。用数学式表示为

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

式中：p——压力，公斤/厘米²；

F——作用力，公斤；

S——受力面积，厘米²。

压力也可以用相当的液柱高度来表示。在测量压力差或较小压力时，经常以水柱或水银柱的高度作为测量单位，如毫米水柱，米水柱或毫米水银柱等。

二、压力的单位

压力的单位，有下列几种

1. 物理大气压

物理大气压也叫标准大气压，是当水银密度为13.59克/厘米³，温度为0℃，而重力加速度为980.665厘米/秒²时，760毫米高的水银柱作用于一平方厘米面积上的压力。

2. 工程大气压

是工程技术中常用的压力单位，在实际测量中应用最广。它是1公斤力垂直而均匀地作用在1平方厘米面积上所产生的压力。工程上为了计算方便，定1个大气压等于1公斤/厘米²或10米水柱，这样可使压力的单位换算简化，而误差却很小。

3. 毫米水柱

相当于在标准重力加速度下，一平方厘米面积上，受1毫米水柱高的重量所产生的压力。

4. 毫米汞柱

相当于在标准重力加速度时，一平方厘米面积上，受1毫米水银柱高的重量所产生的压力，它等于毫米水柱的13.6倍。

当用液柱测量压力时，液柱应该是指：对于水为4℃；对于水银为0℃，而且是在标准重力加速度980.665厘米/秒²时的数值。

* 以前也称压强。

5. 英制压力单位

相当于在一平方英寸(6.442平方厘米)面积上,受1磅(0.4536公斤)力所产生的压力,其单位为磅/英寸²。这个压力单位,在国外有应用,但国内应用不多。

各种压力单位之间的换算关系,见表 1-1 所列

表 1-1 压 力 单 位 换 算 表

压 力 单 位	公斤/厘米 ²	公斤/米 ²	毫米水银柱	毫米水柱	米 水 柱	物理大气压	磅/时 ²
工程大气压	1.0000	10000	735.56	10000	10.000	0.9678	14.223
公斤/米 ²	0.0001	1.0000	0.0735	1.0000	0.001	0.0000967	0.00142
毫米水银柱	0.00136	13.6	1.000	13.6	0.0136	0.00131	0.01934
毫米水柱	0.0001	1.000	0.0735	1.000	0.001	0.0000967	0.00142
米水柱	0.100	1000	73.556	1000	1.000	0.09678	1.4223
物理大气压	1.0332	10332	760.000	10332	10.332	1.000	14.696
磅/时 ²	0.0703	703	51.715	703	0.703	0.0680	1.000

三、大气压、绝对压力、表压与真空度

压力分大气压、绝对压力、表压与真空度几种。在测量压力时,应区别大气压($p_{大}$),绝对压力($p_{绝}$),表压($p_{表}$)和负压($p_{负}$)。

1. 大气压

是由于大气的重量作用在单位面积上所产生的压力。

2. 绝对压力

是指作用在受力面积上的全部压力,包括流体本身的压力及大气的压力。对某一设备来说,绝对压力就是指设备内部的压力。它等于表压与大气压之和

$$p_{绝} = p_{表} + p_{大}$$

3. 表压

是指设备内部或某处高于大气压力的绝对压力与大气压力之间的差值,即

$$p_{表} = p_{绝} - p_{大}$$

4. 真空度

设备内部或某处的真实压力小于大气压时,它与大气压力之间的差值称为真空度,也叫负压。即

$$p_{负} = p_{大} - p_{绝}$$

绝对压力和表压的单位,大多用公斤/厘米²表示,而真空度多半用毫米水银柱表示。

大气压、绝对压力、表压和真空度的关系见图 1-1 所示。

四、压力计的类型

用来测量压力的仪表,一般称为压力计或压力表,测压仪表按使用的情况及要求精度可分

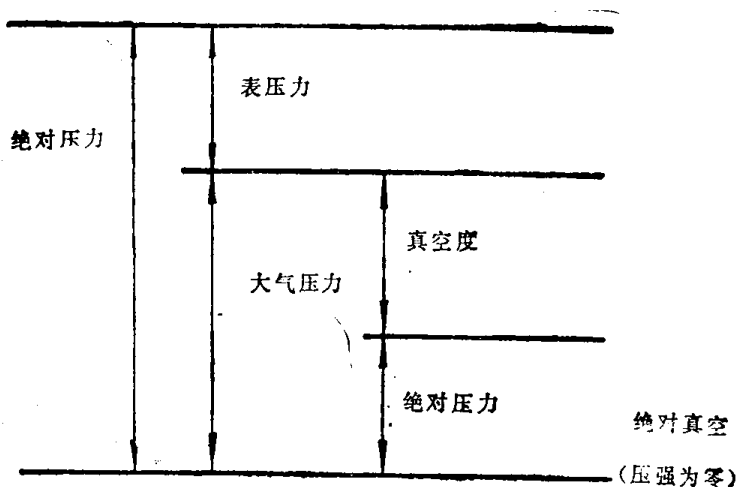


图1-1 大气压、绝对压力、表压和真空度的关系

1. 标准压力表——精度等级在 0.1 级以上
2. 范型压力表——精度等级在 0.1~0.5 级
3. 工作压力表——精度等级在 1~4 级

工作压力表需要用范型压力表来校验,而范型压力表则需用标准压力表来检验。

测压仪表按作用和构造可分

1. 液柱压力计——利用液柱高度来测量压力;
2. 弹性压力计——利用弹性元件的变形来测量压力;
3. 电气压力计——将压力转换成某一电量,用测量电量方法来测量压力;
4. 活塞压力计——利用作用在一定面积的活塞上的力与被测压力相平衡的方法来测量压力。

此外,还有按用途和显示方法等进行分类的,但按上述作用和构造分类是最基本的。

在化工生产中,使用较多的是弹簧压力计和液柱压力计。随着工业仪表自动化水平的不断提高,已逐渐采用 QDZ 型气动压力变送器和 DDZ 型电动压力变送器以及霍尔片压力变送器等。这些压力变送器的测压部分,均以弹性元件为基础。

以下按压力计的作用和构造分类加以叙述。

第二章 液柱压力计

液柱压力计是根据流体静力学原理制成的最简单的测压仪表。用以测量较小的表压和不大的真空度,也可以测量压力差和绝对压力,在化工生产中,多用于测量小于1公斤/厘米²的低压空气或煤气等。

第一节 U形管压力计

U形管压力计为一两端开口弯成U形的玻璃管,将其固定在一板面上,板面上有以毫米为刻度,零点在中间的标尺,管内充注工作液体(水、水银、酒精等),至刻度零点相齐为止。U形管压力计如图1-2所示。

管的一端A通过橡皮管与被测压力管道相连,而B端通大气,设A端的压力大于B端的压力,即 $p_A > p_B$, 由于右面的压力较大,使右面液柱下降,而左面液柱上升,直至两面液柱所产生的压力差 $\Delta p = p_A - p_B$ 为止。此时 Δp 的数值可由下式表示

$$\Delta p = p_A - p_B = h(\gamma - \gamma') \quad (1-2)$$

式中: Δp ——A、B两端的压力差(表压);

h ——液柱高度差;

γ ——工作液体重度*;

γ' ——工作液面上介质的重度。

当工作液面上的介质为气体时,由于气体重度比工作液体重度小得多, γ' 可以忽略不计,则公式(1-2)可改写为

$$\Delta p = h\gamma \quad (1-3)$$

因此,对于一定重度的工作液柱,压力的大小,仅与液柱的高度有关,与玻璃管断面面积的大小无关,故压力可以用相当的液柱高度来表示,如液柱的高度在同一水平面上,表示A、B两端的压力相等,故水平面就是等压面。

上述U形管压力计中,如换用不同重度的工作液体,就可以测量不同大小的压力。常用的工作液体是水、水银、四氯化碳、汽油等,但工作液体必须与被测流体不互溶,相互不起化学变化,当压力差 $p_A - p_B$ 值一定时,可选择适当重度的工作液体来满足准确性的要求。

U形管压力计,通常用于测量气体压力不低于10~15毫米水柱,不大于800毫米水柱的压力。仪表精度为1级。

制造U形管压力计,通常采用内径为5~8毫米的玻璃管,其断面必须是相同的,在有腐蚀性的场合,所用的U形管压力计最好采用搪瓷做的标尺。

工作液体的重度见表1-2。

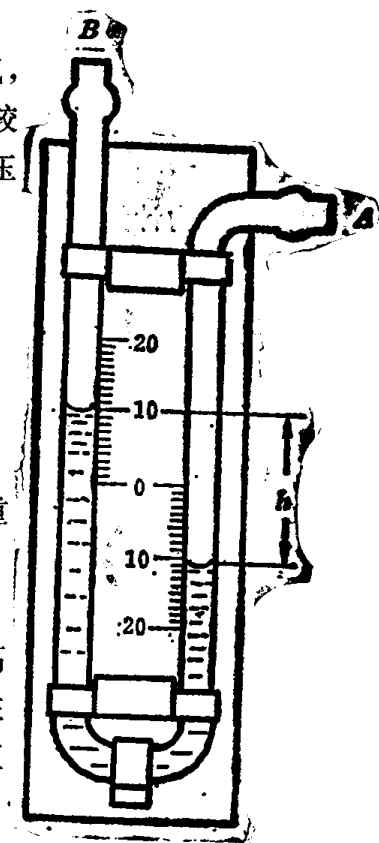


图1-2 U形管压力计

*重度——即流体(气体或液体)单位体积所具有的重量,在液柱压力计中,重度一般均用公斤/厘米³表示。

表 1-2

工 作 液 体 的 重 度

液 体 名 称	符 号 或 化 学 式	20℃ 时 重 度, 公 斤 / 厘 米 ³
水	Hg	0.013547
溴 化 乙 烯	C ₂ H ₄ Br ₂	0.002147
四 氯 化 碳	CCl ₄	0.001594
水	H ₂ O	0.000998
甲 苯	C ₆ H ₅ CH ₃	0.000864
煤 油	—	0.0008
酒 精	C ₂ H ₅ OH	0.000790

此种压力计,构造简单,使用方便,可以测量负压及压力差,也可自制,因此得到广泛应用。其缺点除不能测量低于 10~15 毫米水柱的低压外,在测量时必须同时从两管中取得液面的读数,当被测压力波动很大(脉动性)时,很难准确地读取数值。

工业上用的 U 形管压力计,一般装在木架或钢座上,可防止玻璃管碎裂。

第二节 微 差 压 差 计

当所测的压力极小, U 形管压力计还不够精确时,可在 U 形管中用两种工作液体,并在 U 形管两侧壁上作两个扩张小室,即微差压差计,如图 1-3 所示。

扩张小室起类似水库作用,即在工作液体 A 的高度差 h 很大时,扩张小室内的工作液体 C 仍能维持等高,于是当 $p_1 > p_2$ 时,压差仍可用下式表示

$$p_1 - p_2 = (\gamma_A - \gamma_C)h \quad (1-4)$$

适当地选用 A、C 两种工作液体,使它们的重度差很小,读数可比普通 U 形管压差计大几十倍。

例 1-1 用 U 形管压差计测量气体管路两点的压力差,工作液体用水时,读数为 12 毫米。现为了扩大读数,改用微差压差计,用两种工作液体,其中工作液体 A 是含 40% 酒精的水溶液,重度为 0.00092 公斤/厘米³; 另一种工作液体 C 是煤油,重度为 0.00085 公斤/厘米³。问读数可扩大几倍?

解 设原读数为 h , 新读数为 h' 。当用水作为工作液体时

$$p_1 - p_2 = \gamma_{\text{水}} h$$

当用酒精水溶液和煤油为工作液体时, 则

$$p_1 - p_2 = (\gamma_A - \gamma_C)h'$$

由于所测的压差未变, 所以

$$\gamma_{\text{水}} h = (\gamma_A - \gamma_C)h'$$

$$h' = \frac{\gamma_{\text{水}}}{\gamma_A - \gamma_C} \times h = \left(\frac{0.001}{0.00092 - 0.00085} \right) \times 12 = 12 \times 14.3 = 171 \text{ 毫米}$$

比原读数扩大的倍数为 $\frac{171}{12} = 14.3$ 倍

微差压差计在一般情况下,扩张小室的直径至少为 U 形管直径的 10 倍,这样读数误差不会

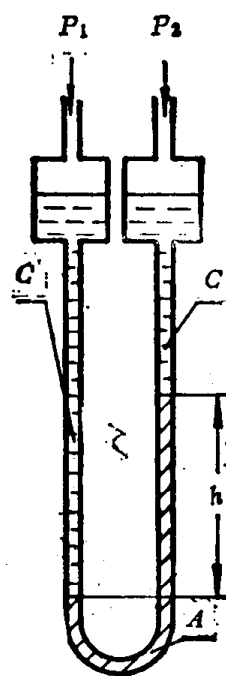


图 1-3 微差压差计

超过 1~2%。

第三节 单管压力计

单管压力计又叫杯形压力计,它是U形管压力计的一种变形,就是将U形管压力计一边管子的面积加大,作为容器,这样由于容器液面变化很小,因此,测量时只须考虑单管的液面,而容器内的液面可以忽略不计,其构造如图 1-4 所示。

当由杯的一边所接入的压力较大时,杯内液面下降 h_2 , 管内液面上升 h_1 , 总的液面高度差为 h , 即

$$h = h_1 + h_2$$

由于管内增加的液体体积,就是杯内减少的液体体积,设杯的横截面积为 F , 管的横截面积为 f , 则

$$fh_1 = Fh_2 \text{ 或 } h_2 = h_1 \frac{f}{F} \quad (1-5)$$

$$\text{因此 } h = h_1 + h_1 \times \frac{f}{F} = h_1 \left(1 + \frac{f}{F}\right) \quad (1-6)$$

若环形容容器为圆形,直径为 D ,管子直径为 d , 则

$$\frac{f}{F} = \frac{\frac{\pi}{4}d^2}{\frac{\pi}{4}D^2} = \frac{d^2}{D^2} \quad (1-7)$$

根据流体静力学原理

$$\begin{aligned} p &= h\gamma = \gamma h_1 \left(1 + \frac{f}{F}\right) \\ &= h_1\gamma \left(1 + \frac{d^2}{D^2}\right) \end{aligned} \quad (1-8)$$

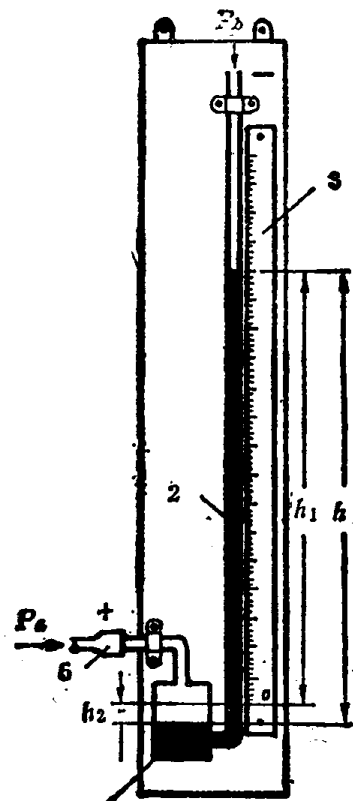


图1-4 单管压力计

1.金属容器; 2.玻璃管;
3.刻度标尺; 4.底板; 5.连接管

由于杯的直径 D 远大于管的直径 d , 因此 $\frac{d^2}{D^2}$ 的比值很小,一

般均在 0.002 以下,可忽略不计,所以式 (1-8) 可改写成

$$p \approx h_1\gamma \quad (1-9)$$

由式(1-9)可知,只要读出玻璃管内液面上升的高度 h_1 ,再乘以工作液体的重度 γ ,就可算出被测压力的大小。它与U形管压力计相比,最大的优点是只需进行一次读数,误差比U形管压力计可减少一半,另外单管压力计的强度,也比U形管压力计高一些。

单管压力计测量范围为 0~1500 毫米水柱,仪表精度为 0.5~1 级。

在范型的单管压力计中,为了提高读数的准确度,还装置有带反射镜的刻度标尺。

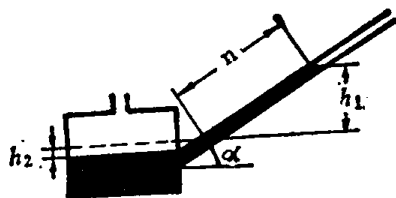


图1-5 斜管微压计

第四节 斜管压力计

斜管压力计,可供测量微小的压力、负压力以及不大的压力差之用。图 1-5 为常用的斜管微压计简图。

当测量正压力时,需要测量的压力和容器相通,而当测量负压力时,则与倾斜管相通,在测量压力差的情况下,则将较

高的压力和容器相通，而将较低的压力和倾斜管相通。

若设斜管的倾斜角度为 α ，在所测压力的作用下，管内工作液体液面，在垂直方向升高了一个高度 h_1 ，而容器内的工作液体液面下降了 h_2 ，则微压计内液面的高度差，将为

$$h = h_1 + h_2 \quad (1-10)$$

$$\text{由图 1-5 知 } h_1 = n \sin \alpha \text{ 或 } n = \frac{h_1}{\sin \alpha} \quad (1-11)$$

如测量管的截面积为 f ，容器的截面积为 F ，由于管内增加的液体体积，就是容器内减少的液体体积，所以

$$nf = h_2 F \text{ 或 } h_2 = n \frac{f}{F} \quad (1-12)$$

$$\text{则 } h = h_1 + h_2 = n \sin \alpha + n \frac{f}{F} = n \left(\sin \alpha + \frac{f}{F} \right) \quad (1-13)$$

$$\text{又 } p = h\gamma \quad (1-14)$$

$$\text{所以 } p = n\gamma \left(\sin \alpha + \frac{f}{F} \right) \quad (1-15)$$

由于容器的截面积比测量管的截面积大得多，比值 $\frac{f}{F}$ 很小，因此可以认为容器内的液面变化不大，而忽略不计，

则式(1-13)及式(1-15)可改写为

$$h = n \sin \alpha \quad (1-16)$$

$$p = n \sin \alpha \gamma \quad (1-17)$$

式中： n ——测量管的指示值；

γ ——工作液体的重度。

在这种倾斜管微压计中，当工作液体的重度一定时，管的倾斜角度 α 愈小，则读数的放大倍数愈大，也就是读数的长度愈

长，增大的倍数为 $\frac{1}{\sin \alpha}$ ，最大

可放大 20 倍，但测量的限度也就愈小，倾斜角度 α 一般不小于 15° ，因为 α 太小时，管内液面拉得长而极易冲散，反而使读数不准确。

斜管压力计在构造上，有倾斜角固定和可变动两种，图1-6是一种 Y-61 型倾斜角可以改变的斜管微压计。

在图 1-6 中，容器 1 通过橡皮管 2 与测量管 3 相通，沿着这根测量管，安放着一根长度为 250

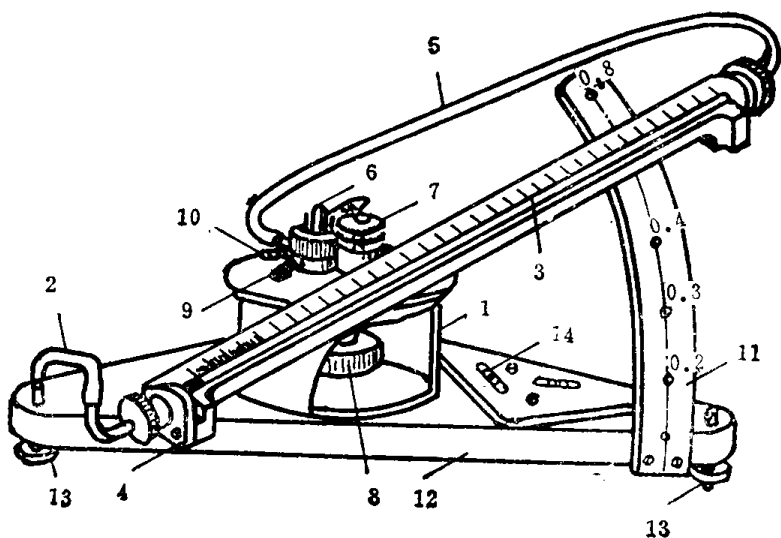


图1-6 Y-61型倾斜角可变更的微压计

- 1.容器；2.橡皮管；3.测量管及标尺；4.支架；5.橡皮管；6.多路阀；7.零点调整螺丝；8.小活塞；9.10.管子接头；11.弧形支架；12.底板；13.定位螺丝；14.水平指示器

毫米的标尺,测量管3的一端固定在支架4上,另一端借橡皮管5连到多路阀6上,用它可以使容器和测量管接通或断开。为了将液面调整到零点,可用零点校正螺丝7来移动容器内的小活塞8,仪器有两个管子接头9和10分别与被测介质和大气相通。

测量管借弧形支架11可以固定在四个不同的倾斜角度上,刻在支架上的数字0.1,0.2,0.3和0.4代表应乘的因数,即 $\gamma\left(\sin\alpha + \frac{f}{F}\right)$ 的数值,仪表全部装在底板12上,在底板上设有三个定位螺丝13和两个水平指示器14。

斜管压力计的测量范围为0~200毫米水柱,最大工作压力为1000毫米水柱,仪表精度为0.5~1级。

第五节 浮子式差压计

浮子式差压计,实际上就是一个单管压力计,两者的区别在于:单管压力计只能直接从标尺上读数,不能记录,而浮子式差压计,则可由在工作液体中的浮子,将液柱高度的变化传递出去。

浮子式差压计的结构原理如图1-7所示。

在图1-7中,浮子室通较高的压力,称正压室或正压罐,单管通较低的压力,称负压室或负压罐,为了适用于高压,它的正压室和负压室都用金属制成,又为了使读数自动记录或指示,在正压室内放一个浮子,它浮在工作介质的面上,随液面上下移动,通过传动杠杆,变成指针或记录笔的偏转。

浮子式差压计可在较大的测量范围内变动,其原理如下:

当 $p_1 > p_2$ 时,由于浮子室下降的液体体积应等于管内上升的液体体积,则

$$h_1 F = h_2 f \text{ 或 } h_1 = h_2 \frac{f}{F} \quad (1-18)$$

$$\text{又} \quad h = h_1 + h_2 = h_2 + h_2 \frac{f}{F} = h_2 \left(1 + \frac{f}{F}\right) \quad (1-19)$$

$$\text{所以} \quad \Delta p = p_1 - p_2 = h \gamma = h_2 \left(1 + \frac{f}{F}\right) \gamma \quad (1-20)$$

式中: h_1 ——浮子室液面下降高度;

h_2 ——管内液面上升高度;

h ——总的液面变化高度;

F ——浮子室截面积;

f ——管子截面积;

γ ——工作液体重度。

由式(1-20)可知:当管内液面高度 h_2 和工作液体重度 γ 不变时,压差 $p_1 - p_2$ 仅与 $\frac{f}{F}$

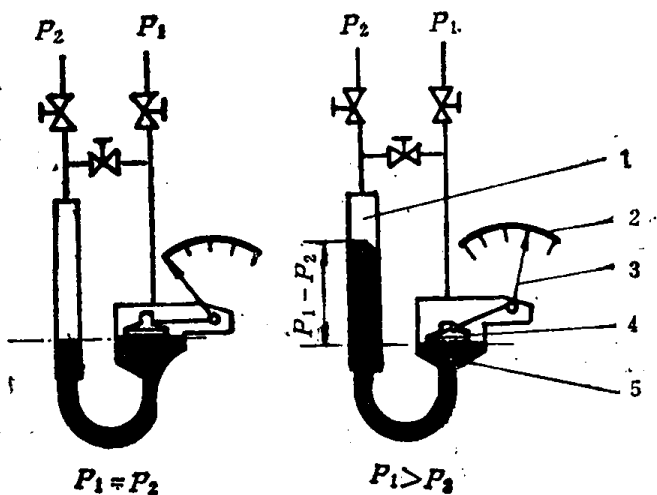


图1-7 浮子式差压计原理

1. 负压罐; 2. 刻度标尺; 3. 指针; 4. 浮子; 5. 工作介质