

BIANSONGQI XUANYONG YU WEIHU

变 送 器

选用与维护

● 朱炳兴 编著

化学工业出版社

工业装备与信息工程出版中心



变送器选用与维护

朱炳兴 编著

化学工业出版社

工业装备与信息工程出版中心

·北京·

(京)新登字 039 号

图书在版编目(CIP)数据

变送器选用与维护/朱炳兴编著. —北京:化学工业出版社, 2000. 11
ISBN 7-5025-2951-9

I. 变… II. 朱… III. 变送器-基本知识 IV. TH86

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2000) 第 41655 号

变送器选用与维护

朱炳兴 编著

责任编辑: 刘 哲

责任校对: 凌亚男

封面设计: 郑小红

*

化 学 工 业 出 版 社 出版发行
工业装备与信息工程出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话: (010)64982511

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

北京市燕山印刷厂印刷

北京市燕山印刷厂装订

开本 787×1092 毫米 1/16 印张 11 $\frac{3}{4}$ 字数 286 千字

2001 年 1 月第 1 版 2001 年 1 月北京第 1 次印刷

印 数: 1—4000

ISBN 7-5025-2951-9/TP·273

定 价: 25.00 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

京朝工商广字第 740 号

前 言

本书是介绍变送器方面的参考书，书中较详细地分析了各种差压、压力变送器的工作原理、结构特点，以及选型、安装、使用、操作和维修等方面的知识。像当今许多高科技产品一样，差压、压力变送器也是在不断的变革之中，但由于涉及到人力、财力、物力等诸多因素，新产品的应用、老产品的淘汰不可能是一朝一夕所能完成的。在我国，除了最早的浮子式水银差压计已被淘汰外，其他如双波纹管差压计，气动、电动力平衡式变送器，微位移式变送器，智能变送器等都在生产和使用。为了照顾各方面的需要，本书对以上变送器都有介绍，但重点介绍智能变送器方面的知识。

在计划经济时期，我国的变送器品种比较单一，主要是 QDZ- I、II、III 型和 DDZ- I、II、III 型。但自改革开放以来，变送器的类型越来越多，也越来越复杂，世界各大仪表公司的各种各样的变送器都涌入我国市场，有的是随进口设备带来的，有的是单机购买的，有的是进口主要部件后在我国组装生产的，当然也有我国自己开发制造的。在这种情况下，要把每一种变送器都介绍到，显然是不可能的。好在同一时期不同厂家的产品，其性能规格大多是差不多的。所以，本书重点介绍几种有代表性的产品，以便读者从中举一反三，解决各自在使用变送器中出现的问题。

编者虽然一直在从事仪表自动化方面的工作，但原先并没有想过要编书，因此平时积累的资料有限，加上水平有限，书中缺点错误在所难免，欢迎读者批评指正。

编著者

2000 年 1 月

内 容 提 要

这是一本关于变送器方面的参考书。变送器是将被测工艺参数通过其传感元件的检测,转换部件的放大和变换,输出一个统一的相应的气压或电流信号的一类仪表。全书共分10章,内容涉及广泛,从双波纹管变送器到力平衡式变送器、微位移式变送器、智能变送器等,对每一代有代表性的变送器都进行了介绍,重点阐述了变送器的选型、应用、安装、调校、投运和维护等方面的知识。

本书内容丰富,切合实际。作者长期从事工业仪表的设计制造和应用维护等方面的工作,故总结了许多实际工作中遇到的问题。本书可供从事仪表使用、设计、管理等方面工作的工人和技术人员阅读,对院校师生也有参考价值。

目 录

第1章 绪论	1
1.1 概述	1
1.2 变送器的发展	1
1.3 压力概述	3
1.3.1 压力和压力单位	3
1.3.2 表压和绝压	4
1.4 位移式差压计	5
1.4.1 浮子式水银差压计	5
1.4.2 双波纹管差压计	6
第2章 力平衡式变送器	8
2.1 膜盒结构	8
2.2 仪表构成原理	9
2.2.1 位移平衡原理.....	10
2.2.2 力平衡原理.....	10
2.3 气动力平衡式变送器.....	12
2.3.1 气动检测放大元件.....	12
2.3.2 单杠杆气动差压变送器.....	14
2.3.3 双杠杆式气动差压变送器.....	16
2.3.4 矢量机构差压变送器.....	18
2.3.5 气动压力变送器.....	19
2.3.6 校验调整和故障处理.....	21
2.4 电动力平衡式变送器.....	21
2.4.1 DDZ-Ⅱ型差压变送器	22
2.4.2 DDZ-Ⅲ型差压变送器	25
2.4.3 电动Ⅱ型、Ⅲ型变送器的调校和故障处理.....	29
2.5 力平衡变送器的误差分析.....	30
2.5.1 基本误差和线性误差.....	30
2.5.2 静压和温度误差.....	31
第3章 微位移式变送器	33
3.1 概述.....	33
3.2 1151系列变送器	34
3.2.1 电容膜盒.....	34
3.2.2 整机电路和方框图.....	36
3.2.3 电容-电流转换电路	38
3.2.4 电流放大电路.....	40

3.2.5 其他电路	41
3.2.6 调整和校验	42
3.2.7 故障检查和维修	44
3.3 FC 系列变送器	45
3.3.1 差压检测部件	45
3.3.2 压力检测部件	47
3.3.3 电路组成及性能分析	47
3.3.4 调整和检验	50
3.3.5 内装避雷器	52
第4章 智能变送器	54
4.1 概述	54
4.1.1 智能变送器的出现和特点	54
4.1.2 两种不同的通讯协议	55
4.1.3 智能变送器和手持终端、DCS 之间的通讯	56
4.2 FCX-A/C 智能变送器	58
4.2.1 结构原理	58
4.2.2 模拟型变送器的调校和操作使用	61
4.2.3 智能型变送器的操作使用	63
4.3 Dpharp EJA 智能变送器	69
4.3.1 结构原理	69
4.3.2 检查和调整	71
4.3.3 智能终端 BT200 的操作	73
4.3.4 故障处理	81
4.4 MV2000T 系列智能变送器	81
第5章 全数字式智能变送器和现场总线控制系统	84
5.1 全数字式智能变送器的出现和特点	84
5.1.1 全数字式智能变送器的出现	84
5.1.2 全数字式变送器的特点	85
5.2 现场总线控制系统	86
5.2.1 现场总线特点	86
5.2.2 现场总线标准	87
5.2.3 现场总线控制系统 FCS	88
5.2.4 FCS 和 DCS 的比较	89
第6章 远传法兰式变送器	91
6.1 法兰变送器的出现和应用场合	91
6.1.1 法兰变送器的出现	91
6.1.2 法兰变送器的应用场合	92
6.2 远传隔离膜盒的形式	92
6.3 法兰变送器的性能特点	95
6.3.1 隔离膜片的 PV 特性	95

6.3.2 填充液	96
6.4 法兰变送器的选型	97
6.5 法兰变送器的使用	99
6.5.1 零点和量程计算	99
6.6 法兰变送器的安装	101
6.6.1 安装位置	101
6.6.2 降温措施	102
6.6.3 连接法兰	104
第7章 变送器的选择	107
7.1 技术性能的选择	107
7.1.1 基本误差和综合误差	107
7.1.2 量程选择	108
7.2 防腐材料的选择	109
7.2.1 材料选择中的注意事项	109
7.2.2 几种变送器接液材料的防腐性能	110
7.2.3 防氢变送器	113
7.3 防爆变送器的选择	114
7.3.1 防爆知识概述	114
7.3.2 防爆变送器的选择	117
7.3.3 安全栅	118
7.4 防尘与防水	119
第8章 变送器的应用	120
8.1 流量测量	120
8.1.1 节流式流量计	120
8.1.2 均速管流量计	121
8.1.3 内藏孔板流量计	125
8.1.4 靶式流量计	129
8.1.5 和 $\sqrt{\Delta p}$ 成线性的流量计应用	131
8.2 液位测量	134
8.2.1 静压液位计	134
8.2.2 吹气液位计	135
8.2.3 双室平衡容器差压液位计	136
8.2.4 力平衡式液面计	137
8.3 密度和重量的测量	138
8.3.1 密度和重量的测量	138
8.3.2 流化床催化剂参数的测量	139
第9章 变送器的安装	141
9.1 取源部件的安装与配管配线	141
9.1.1 取源部件的安装	141
9.1.2 配管	143

9.1.3 配线	144
9.2 变送器的安装	146
9.2.1 信号压力的引入	146
9.2.2 变送器的安装位置	148
9.3 辅助容器及仪表管用螺纹	151
9.3.1 辅助容器	151
9.3.2 管用螺纹	153
第 10 章 变送器的校验、投运和维护	156
10.1 校验和调整	156
10.1.1 校验设备	156
10.1.2 变送器的技术特性	158
10.1.3 校验	164
10.2 投运	168
10.2.1 管路与线路的检查	168
10.2.2 仪表的单校和联校	169
10.2.3 变送器的投运	169
10.3 维护和检修	172
10.3.1 定期检查维护	172
10.3.2 停工检修	174
10.3.3 故障处理	175
参考文献	178

第 1 章 绪 论

1.1 概 述

在生产过程的自动检测与控制中,由于计算机分散控制系统 DCS 的应用,现在调节器、记录仪、运算器等盘装、架装仪表的数量很少了,但随着工艺过程的复杂,自动化程度的提高,现场变送器的数量却越来越多。

现场变送器将被测工艺参数,通过其传感元件的检测,转换部件的放大和变换,输出一个统一的相应的气压或电流信号。检测部件和转换部件一般是做在一起的,因此结构紧凑,体积较小。

变送器的种类很多,按工作能源分,有气动变送器、电动变送器;按被测参数分,有差压、压力、流量、温度、液位等变送器。不少检测仪表虽然习惯上不叫变送器,其检测部件和转换部件也不制作在一起,但就其功能来说,它们也是将被测参数转换成统一的标准信号,也具有变送功能。例如氧化锆氧量分析仪、电磁流量计、超声波流量计、漩涡流量计等等。因此,可以这样说,随着电子技术、计算机技术以及微机械加工技术的进展,现在只用于就地自动检测、自动分析的仪表很少了,它们大多还有变换功能,有统一的标准信号输出,以便和记录仪、调节器、运算器,以及工业控制计算机相连。

本书介绍的变送器,主要是以压力传感元件为检测部件的传统式变送器,包括差压、流量、压力、绝压、单法兰、双法兰和法兰液位变送器等,它们占了整个测量仪表中的绝大部分。在这几种变送器中,差压变送器是基型,压力变送器在结构上,以往和差压变送器有很大不同,但现在都是在差压变送器的结构上派生出来的。因此,分析介绍差压变送器是本书的重点。

长期以来,差压变送器一直是世界各仪表厂商开发研究、设计制造的主流产品,因为差压变送器和节流元件配套组成的流量测量仪表有独特的优点,简单可靠,无可动部件,可测液体、气体和蒸汽能耐高温、低温等恶劣条件,在所有流量测量仪表中,孔板(包括喷嘴、文丘利管)流量计以及差压变送器与其他传感元件组成的流量计占了一半以上。差压变送器还可以用来测容器液位,界位、介质密度以及其他各种工艺参数,所以它是变送器中用途最广,销量最多,最有代表性的一种仪表。

仪表产品的更新换代越来越迅速,以致使许多仪表工作人员深感跟不上形势发展的需要。以往新技术的发展,往往要经过几十年的时间,而如今,这种发展只需几年,甚至更短时间。因此,本书在撰写各种变送器的结构、原理及其技术性能时注重基本知识的叙述和分析,这样,即使具体的变送器变更了,但这些基本知识还是有用的。

1.2 变送器的发展

最早的差压计是浮子式的,内灌水银。20 世纪 50 年代初,我国由前苏联援建的工程项目,大多使用的是这种仪表,我国的仪表制造厂生产过,型号为 CF 和 CFY。这种仪表不称为变送器,因为它不是单元式的,没有统一的标准输出信号,仪表的测量部分、转换部分、指示记

录部分全部制作在一起，所以是基地式仪表。仪表内的水银是有毒物质，对人体有害，所以当时的仪表车间都有洗澡间，以便维修人员维修了差压计后用水冲洗。60年代，我国的仪表人员还曾进行过消灭差压计水银的技术革新。这种仪表的量程不能改变，不耐单向过压，精度为 $\pm(1.5\sim2.5)\%$ 。

双波纹管差压计的使用，在国外40年代就已经开始了，例如美国波顿公司的双波纹管差压计，但在我国，则晚于浮子式水银差压计。它也是基地式的，测量、指示、记录制作在一起。它没有工作能源，因此无法变送，不能和调节器相连，所以通常仅作为测量仪表使用。但因为不需能源，所以可在压缩空气和电源到不了的地方，例如工厂的边缘地区使用。记录纸的走动靠机械时钟，所以它天然防爆。当然，在有电源的地方，也可用同步马达带动记录纸运行，记录纸一天更换一张。它有流量积算机构，也可借助积算仪，对记录曲线进行人工流量积算，所以常用于水、气、蒸汽的计量。这种仪表至今还在我国生产使用。该仪表的量程是不能调的，精度早期为 $\pm 1.5\%$ ，现在为 $\pm 1\%$ 。

60年代初，我国开始研制力平衡式变送器，分气动和电动两种，也就是现在人们熟悉的QDZ型变送器和DDZ型变送器。力平衡式仪表的工作原理早在二次大战以后就由美国摩尔公司提出来了，但将仪表推向市场，则在50年代。我国先是仿制前苏联的ДМІІК气动变送器，称QDZ-I型，后来又参照美国和日本的双杠杆变送器设计制造。单杠杆力平衡变送器，则是我国自行开发设计的，它们都称为QDZ-II型变送器。为了减小体积，便于调校，后来又开发了矢量平衡变送器，称QDZ-III型，其实I、II、III型变送器本质上没有什么区别。至于电动变送器，也分三个阶段，即DDZ-I型、II型和III型，前两个型号系列为0~10mA DC电流输出，220V AC供电，后一个系列为24V DC供电，4~20mA电流输出。力平衡式变送器的测量范围可以调节，最大和最小之比约6~10倍不等。仪表的精度为 $\pm 1.0\%$ ，并有很好的静压和单向过压特性。

70年代，世界上出现了电容、电感、电阻和弦振频率为传感元件的变送器，这种变送器的传感元件位移和变形极小，故又称微位移式变送器。在我国用得较多的有美国罗斯蒙特公司(Rosemount)的1151系列变送器、日本富士电机公司的FC系列变送器，以及日本日立公司的EDR/EPR系列变送器，它们分别在我国的西安仪表厂、上海自动化仪表一厂、兰炼仪表厂、大连仪表厂等一些单位引进生产和进行过国产化的工作。这种仪表的精度为 $\pm 0.25\%$ 至 $\pm 0.35\%$ ，最大测量范围和最小测量范围之比为7~10倍，二线制，电源线和信号线合用，供电电压为24V DC，既有隔爆仪表，又有本质安全防爆仪表。

80年代，美国霍尼韦尔公司(Honeywell)推出了智能变送器(Smart变送器)。之后的十几年间，世界各大仪表公司都推出了各具特色的智能变送器，至今已有数十种之多。这种变送器的原设计意图是能和分散控制系统DCS进行通讯，但在开发的时候，世界上尚未形成统一的现场通讯标准，因而各厂家的智能变送器大多按各自的通讯标准开发，相互无操作性，无可换性，产品多数和模拟变送器的用法相似。这种仪表的量程比很大，有40、100甚至400的，仪表的精度为 $\pm 0.1\%$ ，高的还有 $\pm 0.070\%$ 。

随着电子技术和计算机技术的发展，随着国际现场总线标准的制定和统一，现在世界各仪表公司正在开发或开始推出现场总线型变送器，或称全数字式变送器。这种变送器具有许多优点，它已不是传统意义上的变送器，而是集变送、控制、通讯于一身，不论是传感器电路，还是转换器电路，全是数字式的，因此将会给仪表自动化领域带来革命性的变化。但目前总的说来，还处在开发阶段，离实际使用还有一段时间。

表 1-1 为变送器的发展过程及其在我国引进使用和生产的年代。

表 1 1 各类变送器在我国使用和生产的年代

名称(使用和生产年代)	结 构 形 式
基地式位移平衡差压计 (50 年代起引进使用,50 年代末我国有生产)	浮子式水银差压计 双波纹管差压计
力平衡式变送器 (60 年代起引进使用,60 年代中我国生产)	气动变送器, QBZ I, II, III 电动变送器, DBZ I, II, III
微位移变送器 (70 年代起引进使用,80 年代引进技术生产)	电各式 扩散硅式 电感式 振弦式
智能(Smart)变送器 (80 年代后期引进使用,90 年代中引进零部件组装生产)	电各式 谐振式 扩散硅式 陶瓷式
全数字式变送器(现场总线型变送器) (90 年代中开始引进使用)	

1.3 压 力 概 述

本书中讲的变送器,实质上都是压力的变送,为此,先介绍一下压力方面的有关知识。

1.3.1 压力和压力单位

压力是垂直、均匀地作用在单位面积上的力,其法定计量单位为帕斯卡,简称帕,符号为 Pa。

Pa 的单位是很小的,常用的单位为 kPa、MPa

$$1\text{MPa}=1000\text{kPa}=10^6\text{Pa}$$

由于各个国家的传统习惯和情况不同,使用的测压仪表不同,压力的单位除了现在国际上统一的计量单位,即 MPa, kPa 和 Pa 外,还沿用有许多其他单位,如 kgf/cm^2 、mmHg、mmH₂O、atm、psi 等一、二十种之多。

kgf/cm^2 (公斤力/厘米²),是我国在采用法定计量单位制以前广泛使用的压力单位,现在已被废除,但由于长期的习惯,有时在口头上或非正式资料上仍有使用,一些进口项目和进口仪表也常有 kgf/cm^2 出现。

在德国和欧洲的一些变送器中,常用 bar (巴) 来表示压力单位,但它不是我国规定的法定计量单位,虽然 bar 和 Pa 在同一范畴, $1\text{bar}=100\text{kPa}$ 。

当用 mmH₂O 和 mmHg 表示压力单位时,水和水银的密度指的是 4℃ 和 0℃ 时的密度, ρ 为 $9.80665\text{m}/\text{s}^2$ 。如果使用时离开了这个条件,则要把水或水银柱的高度换算到上述条件时的高度,否则得到的量值便有误差。例如,若 20℃ 时测得的压力为水银柱高度 738.2mmHg,则化成 0℃ 时只有 736mmHg 了,所以要考虑测量时的环境温度。

空气也有重量,因而它像水柱、汞柱一样,对地面、对周围空间也都产生压力,这个压力就叫作大气压。大气压不仅随各地区海拔高度的增加而减少,而且和当地的气候条件有关,通常把纬度为 45℃ 的海平面上的大气压叫标准大气压 atm (atmospheric), $1\text{atm}=101325\text{Pa}$ 。

为了计算简便,工程上还有一个工程大气压,它为 $1\text{kgf}/\text{cm}^2$ 。

在英美,压力单位常用 pbf/in^2 (磅/英寸²) 表示,它的另一种写法是 psi (Pounds per square inch)。

表 1-2 是各压力单位间的换算。

表 1 2 压力单位换算表

单 位	千帕 (kPa)	兆帕 (MPa)	公斤力/厘米 ² (kgf/cm ²)	毫米汞柱 (mmHg)	毫米水柱 (mmH ₂ O)	巴 (bar)	磅/英寸 ² (psi)	标准大气压 (atm)
千帕(kPa)	1	10 ⁻³	0 0101972	7 5	102	0 01	0 145038	0 0098692
兆 帕 (MPa)	1000	1	10 2	7 50×10 ³	1 02×10 ⁵	10	1.45×10 ²	9 8692
公斤力/厘米 ² (kgf/cm ²)	98 067	0 0981	1	735 6	10 ⁴	0 981	14 22	0 9678
毫米汞柱 (mmHg)	0 1333	1 333×10 ⁻⁴	1 36×10 ⁻³	1	13 6	1 333×10 ⁻³	19 34×10 ⁻³	1 316×10 ⁻³
毫米水柱 (mmH ₂ O)	9 81×10 ⁻³	9.81×10 ⁻⁶	10 ⁻⁴	73 56×10 ⁻³	1	98 1×10 ⁻⁶	1 422×10 ⁻³	0 9678×10 ⁻⁴
巴 (bar)	100	0 1	1 02	750	10 2×10 ³	1	14 50	0 9869
磅/英 寸 ² (psi)	6 89	6 89×10 ⁻³	70 3×10 ⁻³	51 72	703	68.9×10 ⁻³	1	68 05×10 ⁻³
标准大气压 (atm)	101 33	0 1013	1.0332	760	1 0332×10 ⁴	1.0133	14 696	1

注 mmHg $t=0^{\circ}\text{C}$ $g=9.80665\text{m/s}^2$ 条件下。
mmH₂O $t=4^{\circ}\text{C}$ $g=9.80665\text{m/s}^2$ 条件下。

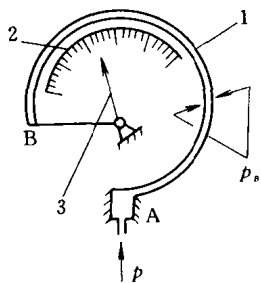


图 1-1 弹簧管压力表工作
原理示意图
1—弹簧管, 2—刻度盘,
3—指针

1.3.2 表压和绝压

按压力的基准值不同, 压力分绝对压力和表压力两种。

现有的测压仪表, 大多测的是表压力, 例如用得最普遍的弹簧管压力表测的就是表压力。图 1-1 是它的工作原理示意图。弹簧管 1 的 A 端固定, B 端通过齿轮连指针 3。当通入弹簧管内的压力 p 增加时, 自由端 B 向外移动 (顺时针方向), 指针 3 的读数增加; 当弹簧管外面的压力 p_a , 即大气压减小时, 自由端也向外移动, 所以指针的读数既取决于 p , 也取决于 p_a , 是两者的差值。当两者的压力值相等时, 指针读数指零。这种以大气压为零压来表示的压力, 即称为表压力。当 p 大于大气压力 p_a 时, 则仪表读出的是正压; 当 p 小于大气压力 p_a 时, 则读出

的是负压, 其值又称为真空度。

如果把压力表的弹簧管置于绝对真空中, 即 $p_a=0$ (绝压), 则压力表指针读出的便是绝对压力, 所以绝对压力是以绝对零压为基准来表示的压力。

图 1-2 为绝压、表压、真空度之间的关系。从图中可见:

表压=绝压-大气压

绝压和表压在道理上是很容易明白的, 但在实际使用时, 经常有人把两者混淆起来。例如有人要买一台绝对压力变送器, 他提给制造厂的仪表量程是 -90kPa。他的意思是, 绝对压力只要把它提的压力和大气压力相减就知道了, 但大气压力是

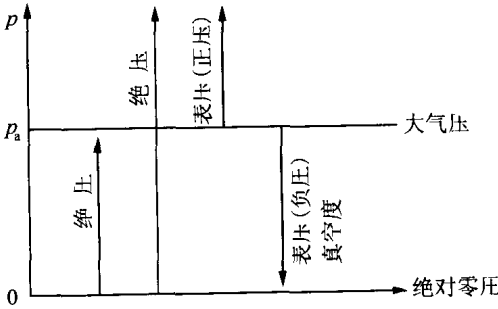


图 1-2 绝压、表压、真空度之间的关系

是 -90kPa。他的意思是, 绝对压力只要把它提的压力和大气压力相减就知道了, 但大气压力是

多少呢？他算成标准大气压 101.33kPa，于是绝对压力就等于 $101.33 - 90 = 11.33\text{kPa}$ 。这里的问题是：大气压是变的，不同地区的大气压力是不同的，例如沿海地区，那里的大气压基本上是标准大气压，即 101.33kPa；但到了内地，例如兰州地区，那里的大气压只有 84.7kPa。在这种情况下，-90kPa 表压力的绝对压力变送器是不可能制造出来的。

就是在同一地区，天冷和天热，有风和无风，大气压力也是不同的，所以绝压无法从表压中计算出来。

普通的压力仪表和绝压仪表在结构上是不一样的，前者测压元件的另一边是大气，后者测压元件的另一边一定要抽成绝对真空，不能有丝毫残压，否则便会产生误差。为了说明绝压仪表的结构，下面再举一个 U 形管压力计的例子。

图 1-3 为两支 U 形管压力计，其中图 1-3 (a) 的 U 形管一端封死，并抽成绝对真空；图 1-3 (b) 的 U 形管一端通大气。当 U 形管的另一端通入被测压力 p 时，图 1-3 (a) 指示的便是绝对压力，因为它的另一端是真空，不管大气压力如何变化，其示值只随被测压力 p 的变化而变化。而图 1-3 (b) 指示的是表压力，它的示值既随被测压力 p 的变化而变化，也随大气压力的变化而变化。

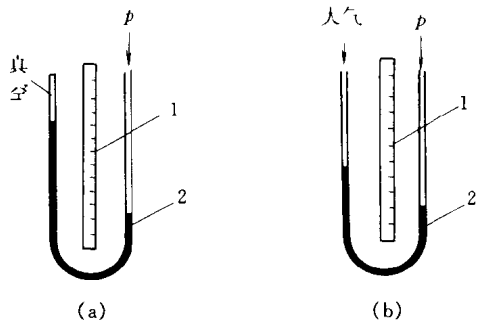


图 1-3 U 形管压力计
(a) 绝压计，(b) 表压计
1—标尺，2—U 形管

绝压和表压的表示方法也是不同的。如果是绝压，则在压力单位后面加“绝压”两字或加英文字母“abs”(absolute)，例如，50kPa 绝压或 50kPa abs。如果是表压，则一般不加，有时也在压力单位后面加“表压”或 g (gauge)，例如 50kPa 表压或 50kPa g。

1.4 位移式差压计

1.4.1 浮子式水银差压计

浮子式水银差压计现在被淘汰了，但它的一些技术指标至今仍有使用，例如差压变送器的信号从最小变到最大时膜盒容积的变化量。其实这一指标对现代变送器来说，已经意义不大了。但有的变送器现在仍有这一指标，例如某变送器的

技术指标上规定容积吸取量小于 0.16cm^3 ，这是因为变送器在使用时，如果装有隔离器或冷凝器，变送器体内的容积变化会冲走隔离液或冷凝液，容积愈大，冲出的愈多。对于浮子式差压计（后面将介绍），它的容积变化量是很大的，差压从最小变到最大时有 100 多立方厘米，所以是一个很重要的指标。但力平衡变送器、微位移变送器的变化量是很小的，故可不用考虑。

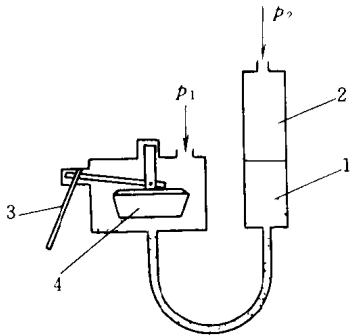


图 1-4 浮子式水银差压计的原理图
1—水银，2—测量导管，3—连杆，4—浮子

下面简单介绍浮子式水银差压计的工作原理，以便了解现代变送器是如何从最早的差压计演变过来的。

浮子式水银差压计是基地式仪表，从差压信号进入到仪表指示、记录全装在一块表上。它是一个系列，有许多品种，包括流量积算，附记压力、温度等。

图 1-4 为浮子式水银差压计的原理图。它实际上是一台单管水银压力计，高压室截面积

大, 低压室截面积小。当高压压力 p_1 增加时, 水银被压向低压导管 2, 于是浮在水银上面的浮子 4 下移, 经密封出轴, 带动连杆机构 3, 指示或记录被测差压。

从图 1-4 中可知, 被测差压 Δp 为:

$$\Delta p = p_1 - p_2 = (h_1 + h_2)(\rho_H - \rho_S)g \quad (1-1)$$

式中 h_1 ——负压导管中水银上升的距离, mm;

h_2 ——正压室中水银下降的距离, mm;

ρ_H ——水银密度, g/cm³;

ρ_S ——介质密度, g/cm³;

g ——重力加速度。

因为正压室内水银下降的容积等于负压导管中水银上升的容积, 所以

$$\frac{\pi}{4}D^2h_2 = \frac{\pi}{4}d^2h_1$$

$$\text{即} \quad h_1 = h_2 \frac{D^2}{d^2} \quad (1-2)$$

式中 D ——高压室内径, mm;

d ——低压测量导管内径, mm。

将式 (1-2) 代入式 (1-1), 得:

$$\Delta p = h_2 g (\rho_H - \rho_S) \left(1 + \frac{D^2}{d^2} \right) \quad (1-3)$$

在浮子水银差压计的设计中, 式 (1-3) 中的 D 和 h_2 是固定不变的, 其中:

$$D = 78 \text{ mm}, \quad h_2 = 30.5 \text{ mm}$$

所以差压从 0 到最大时, 容积变化量 V 为:

$$V = \frac{\pi}{4}D^2h_2 = \frac{\pi}{4} \times 7.8^2 \times 3.05 = 145.7 \text{ (cm}^3\text{)}$$

从式 (1-3) 中还可知道, 由于 D 和 h_2 是常数, 所以要改变差压范围, 只能改变测量导管的直径 d_2 和相应的长度, 也就是说, 如要改变量程, 只能更换测量导管。这种表不耐单向过压, 一旦过压, 水银将被冲走 (进工艺介质), 精度为 $\pm 1.5\%$ 或 $\pm 2.5\%$ 。

50 年代, 我国由前苏联援建的项目大都使用这种仪表, 型号为 ДП 和 ДПП。我国的仪表制造厂也生产过这种仪表, 型号为 CF 和 CFY。水银是一种有毒物质, 水银蒸气对人体危害很大, 还会污染环境, 造成公害。为此, 60 年代末期, 我国的仪表人员曾进行过无水银差压计的革新。

1.4.2 双波纹管差压计

双波纹管差压计也是基地式仪表, 测量、指示、记录、积算等部件都装在一个表壳内。因此, 从某种意义上说还比较方便, 加上价格相对便宜, 所以虽然它出现的年代很早, 但至今仍在我国的一些工厂内使用, 上海自动化仪表十一厂、宁夏银河仪表厂等单位仍在生产。

双波纹管差压计的结构示于图 1-5。它由差压检测和记录指示 (积算) 两部分组成。差压检测部分有两个波纹管, 一个通高压力波纹管 B_1 , 另一个通低压压力波纹管 B_2 , 两个波纹管内部都充满工作液体 (甘油和水), 并相互连通。高压波纹管还连有一个作温度补偿用的短波纹管 B_3 。当环境温度变化时, 工作液体能流入或流出短波纹管。低压波纹管侧装有量程弹簧 7, 改变弹簧根数或刚度, 就可改变仪表量程。连结轴 1 上装有单向保护阀 2, 当单向过压时, 过负荷阀 2 关死, 以阻止工作液体的流动, 从而保护仪表免受损坏。

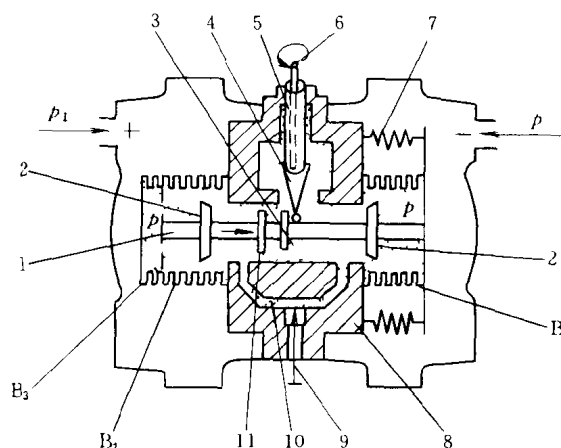


图 1-7 双波纹管差压计检测部分结构图

B_1 高压室波纹管, B 低压室波纹管, B_3 充液温度补偿波纹管,

1 连结轴, 2 单向保护阀, 3 挡板, 4 摆杆, 5 扭力管, 6 心轴,

7 量程弹簧, 8 中心基座, 9 阻尼阀, 10 阻尼旁路, 11 阻尼环

当高低压不等时, 波纹管 B_1 内的工作液体流入波纹管 B_2 , 于是波纹管 B_1 压缩, 波纹管 B_2 膨胀, 通过杆 1 带动量程弹簧 7 压缩。当弹簧因压缩而产生的弹力和差压作用在波纹管有效面积上的力相等时, 系统就趋于平衡。当连结轴移动时, 通过固定在连结轴上的挡板 3 使摆杆 4 扭动扭力管 5 动作, 使心轴 6 以扭力管同样的扭角输出给指示机构。因此输出扭角与波纹管位移量成正比, 也就是与仪表的被测差压成正比。

双波纹管差压计的测量范围是固定的, 如要改变, 则需更换弹簧的数量和刚度。目前我国生产的 CWD 型差压计, 差压量程有 6、10、25、40、60kPa, CWC 型差压计, 差压量程有 100、160、250、400kPa, 它们分别有单针指示或单笔记录, 或差压、压力双参数记录, 并附有流量积算装置等品种。记录纸可以由同步电机, 也可以由机械时钟机构带动。当用机械时钟机构时, 仪表可以在有爆炸危险的场所使用。记录纸为圆图形, 一天一张, 精度为 $\pm 1.0\%$ 和 $\pm 1.5\%$ 。

第2章 力平衡式变送器

2.1 膜盒结构

通常，差压变送器是用来和节流装置配套以测量流体流量的，工艺对这种仪表的要求如下。

① 当差压输入信号在测量范围时，它和输出信号有很精确的比例关系，有很高的线性和灵敏度。

② 当差压输入信号超过了测量范围，而且超过不是一倍、二倍，而是几十倍、上百倍时，变送器不受影响，不会损坏。

③ 当超压部分卸去以后，变送器的各项技术指标仍保持原值，不会变劣。例如，有一台差压变送器的测量范围为 $0\sim 50\text{kPa}$ ，静压为 10MPa ，工艺对这种仪表的要求是：当信号从 0 变到 50kPa 时，输出应精确地从 20kPa 变到 100kPa （气表）或 4mA DC 变到 20mA DC （电Ⅲ型表）；当信号为 10MPa ，即为 50kPa 的 200 倍时，仪表不受影响，不会损坏。显然，这种要求是很苛刻的，一般的测压元件是满足不了的，必须有特殊的装置才行。

膜盒结构就是保证差压变送器的精度、静压和单向过压符合要求的特殊装置，它有如下几种结构。

（1）双膜盒结构

图 2-1 为早期的膜盒结构。它由 4 片完全相同的金属膜片 2 焊接成两个对称的测量膜盒，一个固定在基座 1 的右边，另一个固定在基座 1 的左边，它们分别感测高压压力 p_1 和低压压力 p_2 。两测量膜盒内部是相通的，并灌以填充液 3。当高压压力 p_1 增加时，右边的两测量膜片 2 相互贴近，把其中的填充液挤压到左边的膜盒中，致使左边的两膜片鼓起，从而产生向左方向的位移或力，经连接片 4 和主杠杆相连（图中未画），将此位移和力传送出去，以供转换和放大之用。

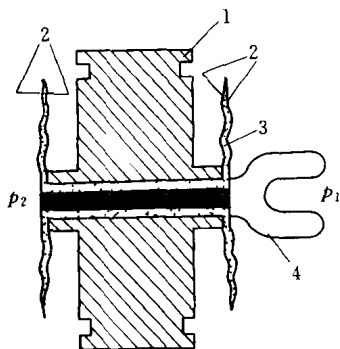


图 2-1 四膜片膜盒

1—基座，2—金属膜片（共 4 片），
3—填充液，4—连接片

同样，当低压压力 p_2 增加时，左边的两测量膜片 2 贴近，右边的两测量膜片鼓起，从而产生向右方向的位移或力。

这种结构可以抗静压和单向过压，因为两个测量膜盒是完全对称的，所以当高压和低压同时增加或减少时，不管增加或减少多少，只要互相相等，差压为 0 ，膜盒内部的填充液便不会流动，膜片也就不会产生位移，从而保证了静压的变化对仪表的输出没有影响。

同样，当单向过压时，例如高压侧压力加大，则右边的两测量膜片由贴近而紧紧贴住。一旦贴住，不管再增加多少压力，对它们已不起作用。因此，低压侧的两测量膜片鼓到一定程度后就不会再鼓。只要膜片的这种鼓起在允许的弹性范围之内，它就不会产生永久变形，也就是单向过压对仪表性能不会有影响。

这种结构的膜盒加工制作比较容易，4 片测量膜片是冲压而成的，可以冲得一模一样，因此有很好的静压和单向特性。但是整个结构的体积较大，而且在冲灌前，由于两对膜片的形