

重油气化的 自动控制

ZHONGYOUQIHUADEZIDONGKONGZHI

谭 均 洪 编

化 学 工 业 出 版 社

重油气化的自动控制

谭均洪 编

化 学 工 业 出 版 社

本书就重油气化(合成氨造气)生产工艺过程中的仪表自控装置,有选择地有重点地叙述自动调节和控制系统、所采用的仪表器件的结构与工作原理,以及它们在使用中可能出现的故障和排除方法。同时还对单元组合仪表的系列结构、各单元仪表的功能、气动仪表元件、自动调节系统的工作情况、仪表的工作气源和电源,以及重油气化生产中自控方面近年来一些使用效果较好的技革技改成果,作了简要的阐述。

本书可供重油气化合成氨生产的仪表工和自动控制技术人员阅读,也可供工艺操作工和有关技术人员参考。

本书在写作过程中,得到衢州化工厂曾国荣、柳珍珠、尤明生、甘惠卿、何孙兴、鄂西化工厂彭方中、长山化工厂张青春、广州氮肥厂岑海钢、古焕环等同志的积极支持,并提出了很多宝贵的意见,完善和丰富了本书的内容,对此表示衷心感谢。本书由黄衍平同志审校。

重油气化的自动控制

覃均洪 编

*

化学工业出版社出版

(北京和平里七区十六号楼)

化学工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

*

开本787×1092¹/₁₆印张12插页1字数294千字印数1-2,200

1982年10月北京第1版1982年10月北京第1次印刷

统一书号15063·3433定价1.30元

目 录

第一章 单元组合仪表概述	1
第一节 单元组合仪表的优点.....	1
第二节 气动单元组合仪表.....	2
第三节 电动单元组合仪表.....	2
第四节 单元组合仪表的各种单元.....	4
第二章 气动仪表的基本元件	7
第一节 弹性元件.....	7
第二节 节流元件.....	13
第三章 物料流量测量和控制	18
第一节 差压式流量测量仪表.....	18
第二节 靶式流量变送器.....	26
第三节 容积式流量测量仪表.....	27
第四节 氧气和重油流量比例控制装置.....	29
第五节 蒸汽流量的控制.....	36
第四章 温度的测量和自动调节装置	38
第一节 气化炉炉膛温度测量及装置.....	38
第二节 废热锅炉炉管管壁温度的测量.....	45
第三节 物料预热温度控制和调节仪表.....	48
第五章 压力控制装置	58
第一节 压力变送器.....	58
第二节 氧气、蒸汽混合气压力控制装置.....	66
第三节 重油压力测量与控制装置.....	67
第四节 气化炉压力控制装置.....	70
第五节 蒸汽压力控制装置.....	72
第六节 喷嘴冷却水槽压力调节.....	73
第七节 氧气总管压力控制装置.....	73
第六章 液位测量和仪表装置	77
第一节 液位测量原理和仪表.....	77
第二节 重油制气中的液位测量控制装置.....	86
第七章 自动分析仪表	91
第一节 红外线气体分析器.....	91
第二节 工业气相色谱仪.....	99
第八章 自动调节概要	116
第一节 自动调节和常用的器件.....	116
第二节 调节系统的投运和整定.....	137

第三节	调节系统的使用与安全	142
第四节	调节系统运行中一些故障的排除	144
第九章	信号报警及点火装置	147
第一节	信号报警装置	147
第二节	炉气放空点火装置	153
第十章	自动联锁控制装置	155
第一节	联锁控制装置的作用	155
第二节	联锁参数及脉冲信号	156
第三节	联锁控制继电装置	159
第四节	联锁执行装置	170
第五节	第一联锁事故信号装置	174
第十一章	仪表工作的动力源	176
第一节	仪表的工作气源	176
第二节	仪表的工作电源	182

第一章 单元组合仪表概述

重油气化是重油在气化炉内进行部分氧化,以获得氢和一氧化碳有效气体成分的连续生产过程。它具有反应温度高、压力大、速度快,以对物料配比要求严格等特点,对生产过程中各种工艺参数的测量和控制,具有较高的质量要求。其中一些重要的工艺参数,采用人工控制是很难达到要求,甚至是不可能的。因此,在重油气化生产过程中广泛地使用仪表与自动控制装置来进行生产控制。

重油气化生产控制中所使用的仪表与自动控制装置,大多是单元组合仪表,根据这一特点,本书在介绍重油气化中的仪表装置时,将以单元组合仪表为主,并且将介绍的重点放在仪表的组合原理,以及它在生产过程中的作用,即仪表装置与化工工艺的关系、使用要求、安全注意事项和一般故障处理等。而对各单元的器体,以及部分非单元组合仪表的结构原理,则只择其中主要方面进行介绍。

第一节 单元组合仪表的优点

重油气化生产过程中,由于工艺管道、设备和传动机组的安装分布面广,采用单元组合仪表进行生产控制,可以灵活地把分散的工艺参数检测点和控制点集中到控制室进行显示和调节。

所谓单元组合仪表,就是把完成“检测到调节、控制”这一过程中的仪表装置的各个基本环节分成能独立实现一定作用的各种单元,各单元之间采用统一的标准信号联系的仪

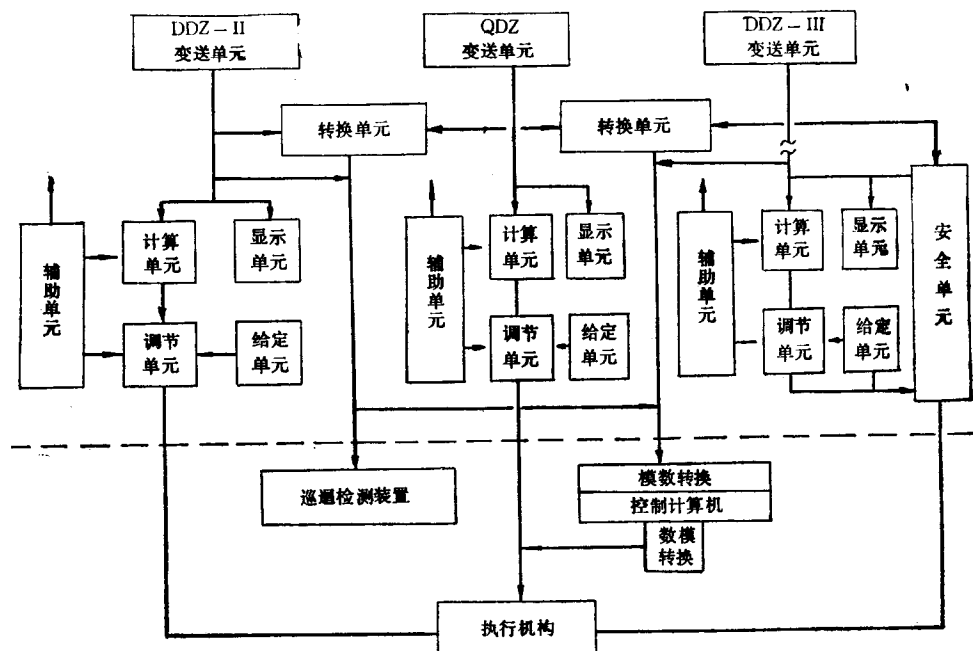


图 1-1 单元组合仪表关系示意图

表。它们不像基地式仪表那样，将所有基本环节装在一个箱壳里，成为一个整体，单元组合仪表很象积木，可以根据不同的需要，选取不同的单元，组合成各种各样不同功能的参数测量或自动调节、遥距控制系统。单元组合仪表这种结构，使它比基地式仪表的精度高得多，同时各单元间可以用通道联系起来，安装位置不受过多的条件限制，而可在适当范围内任意选择，其中显示单元在仪表盘上安装时，所占面积也很小。因此，单元组合仪表被广泛地采用。

单元组合仪表有不同的系列，常用的有气动单元组合仪表和电动单元组合仪表两大类，并且其中还因采用不同的基本元件，而有Ⅰ、Ⅱ或Ⅲ型之分。它们虽然系列和型号分立，但仍可通过转换而互相沟通使用，图1-1为单元组合仪表关系示意图。

第二节 气动单元组合仪表

气动单元组合仪表的系列型号记作QDZ，它是气动（Qidong）、单元（Danyuan）和组合（Zuhe）三个词组的汉语拼音中第一个字母缩写而成。它代表了一整个系列七个单元中，共二百多种规格的各种组合仪表器件。

气动单元组合仪表（以下简称“QDZ”仪表）有一个共同的特点是：它们的工作能源是压缩空气，并且除少数特殊作用者外，气源压力统一为 1.4kgf/cm^2 ；其工作原理都为力平衡式原理。

由于这一系列的仪表工作能源及各单元间的联系信号都是可压缩的空气，因此给它带来了惯性小、连续性好、控制平滑、不容易受各种场力的干扰、构件位移和附加摩擦小、具有良好的防爆性能，以及制造、维修简单等优点。但也因此带来传递和反应速度慢、传递通道的距离有一定的限制，并且必须配备空气压缩机及其净化装置等缺点。

QDZ仪表，通过其各单元器件的不同组合，可以对生产过程的工艺参数进行检测、显示、记录、计算、自动调节、程序控制、远动遥控，以及信息脉冲传输等。还可以（通过转换）和一些基地式仪表或其它单元组合仪表联合使用。

QDZ仪表共分为变送、计算、显示、给定、调节、辅助和转换等七个单元。其品种、规格，根据生产的需要，仍在不断增加。

第三节 电动单元组合仪表

与气动单元组合仪表的系列型号命名相类似，由于电动单元组合仪表的工作能源是电（Dian），因此缩写的系列型号为DDZ。

随着新元件、新工艺在电子技术领域内的迅速发展，从1958年起，我国开始研制电动单元组合仪表至今，经历了以电子管为基本元件的DDZ-Ⅰ型、以晶体管为基本元件的DDZ-Ⅱ型和以集成电路为主的DDZ-Ⅲ型的三个研制阶段，这些仪表现在已成批地应用于工业生产控制装置上。

DDZ-Ⅰ型仪表由于其基本元件是电子管、线路结构复杂、体积庞大、防爆性能差、投资费用高、执行机构复杂、惯性大等缺点，随着半导体元件的广泛使用，使DDZ-Ⅰ型仪表逐渐被淘汰而停止生产制造。

一、DDZ-Ⅰ型电动单元组合仪表

DDZ-Ⅰ型仪表的工作能源为220V、50Hz的交流电源，通道传输信号统一为0~10

mA, D. C; 而其辅助联络信号为0~2V或0~10mV的直流电压。

与QDZ单元组合仪表相类似, DDZ-Ⅱ型仪表也包括有变送、显示、计算、给定、调节、辅助和转换等七个单元(执行机构未列入), 同时也是根据力平衡原理设计的。

DDZ-Ⅱ型仪表是由晶体管、电阻、电容、电感等元件组成各种类型的放大器件和调制器件。因此具有体积较小、电耗较低和有较好的防爆性能等优点。此外还有当负载电阻在0~1500 Ω 范围内变化时, 其信号电流仍可保持恒定, 且信号传输距离(如用0.6mm的铜蕊导线)可达5km远。

DDZ-Ⅱ型仪表, 除了具有单元组合仪表在使用时可通过各单元间的互相组合, 构成各种检测或自动调节系统, 以及通过转换单元, 与其它系列的单元组合仪表配套使用外, 它还可与巡回检测装置联合使用, 实现生产过程参数的集中检测; 与直接数字控制计算机联合使用, 对生产过程参数实行多回路自动调节; 并且, 还能与监督控制计算机较容易地联系起来使用, 从而构成综合的生产过程自动控制系统。

二、DDZ-Ⅱ型电动单元组合仪表

DDZ-Ⅱ与DDZ-Ⅰ型仪表, 虽然同是电动单元组合仪表, 但在结构方面有很大的不同, 这种不同使DDZ-Ⅱ型仪表较之DDZ-Ⅰ型仪表具有更多的优点。

DDZ-Ⅱ型仪表的基本元件是集成电路。因此, 元件、线路和材料集成一体, 大大减少了焊接点, 从而提高了仪表的结构强度, 并且小信号可以直接放大, 所以仪表的可靠性能高。由于集成运算放大器是差分放大器, 输入的对称性好, 漂移小, 因此提高了仪表的稳定性能; 而且在调节器中采用线性集成组件, 使调节器具有较好的机动灵活性, 附加不多的、体积较小的组件, 就可以改变调节器的功能, 使之适用于各种复杂的自动调节系统。从而不象其它单元组合仪表那样, 形成庞大的装置。

DDZ-Ⅱ型仪表采用了国际统一的标准通道信号制, 即: 现场传输通道信号为4~20mA直流电流; 控制室联络信号为1~5V直流电压; 并且信号电流与电压的转换电阻统一为250 Ω 。同时, Ⅱ型仪表采用集中外供24V直流电压的工作电源, 从而使各单元中无电源变压器, 为防爆措施提供了有利条件, 当它与蓄电池组并联使用时, 更可使供电装置成为无断电事故的装置。

安全单元是Ⅱ型仪表所特有的一个单元。由于采取了安全火花型的防爆措施, 使仪表使用范围的环境条件限制缩小了, 从而扩大了它的使用场合。同时, 通道之间的联接采用两线并联制, 更有利于安全防爆措施的实现, 以及提供了维修检查时并接显示仪表的方便。

DDZ-Ⅱ型仪表的测力类变送器, 采用矢量机构力平衡的结构原理, 使变送器的量程调整和安装方便容易, 并且具有较高的防震性能, 提高了变送器在现场恶劣环境中使用时的稳定性能。

DDZ-Ⅱ型仪表的显示单元, 可以单独安装, 也可以高密度集装, 这既方便了操作中参数之间的互比较, 而且为仪表盘的有效使用面积扩大, 提供了很好的条件。

DDZ-Ⅱ型仪表的上述主要优点, 有利于工业生产上的广泛使用。尤其它的元件互换性强、使用寿命长、故障率低、而且处理较方便等。在现代化的大型化工、石油、冶金等企业生产自动化中的使用表明, 它所具有的优越性是非常明显的。

第四节 单元组合仪表的各种单元

单元组合仪表虽有气动和电动（关于液动仪表本书从略）之分，各单元中有器件数量、品种和结构的不同，但从单元名称及其作用来说，是基本类同的。

一、变 送 单 元

变送单元是将生产过程中各种热工量（如温度、压力、流量、液位、压力差……）、电工量和机械量（如转速、位移）等，转换为统一的（符合所属单元系列通道信号标准的）检测信号，输送到其它单元中去，组成对生产过程的参数检测、自动调节、信号报警、数字控制计算等不同作用的装置。因此，变送器是自动控制装置中实现“能观测性”的关键器件。

变送单元中的仪表器件很多，品种也很多，但根据它们的作用来区分，目前可分为两大类型，即：测电和测力的两种形式。

测电式变送器，大多数用在对温度、成分分析、机械位移、转速等参数的检测变送。如：温度变送器、毫伏变送器、频率转换器等。它们将来自各种热电偶、热电阻、电感线圈、霍尔片等，以及将来自成分分析仪表（热导、电导、和红外线等）的电信号，转换为统一标准的通道信号。

测力式变送器是一种广泛使用的器件，它们用在对压力、压力差、流量、液位、比重、界面、真空以及温度（膨胀力）等物理量的检测变送，如压力变送器、差压变送器、流量变送器、液位变送器、压力式温度变送器等。这类变送器的检测敏感元件，有各种类型的波纹管、弹簧管、弹性膜合、金属膜片，以及充液温包等弹性元件，此外还有浮球、浮筒、重锤等定重元件。

无论是测力或测电的变送器，只要系列相同，其检测部份除了敏感元件不同外，变送转换部份基本一样，甚至具有互换性（但也有差别），如差压变送器与压力变送器，前者的敏感元件是膜合，后者是弹簧管或波纹管，但它们的力平衡杠杆部分的结构装置，却都是基本一致的。

二、计 算 单 元

计算单元是实现信号之间的加、减、乘、除、乘方、开方、比率等代数运算的单元。计算单元中器件的名称以所实现的运算方法（包括逆运算）来称呼，如：完成加法、减法运算的，叫做“加法器”。

计算单元在生产过程中的使用的例子很多，如：孔板流量计中，差压变送器检测变换的是孔板前、后的压力差，由于差压与流量的平方成比例关系，因此要将差压变送器输出的信号，接至开方器，经开方运算后的输出信号，才是线性流量示值，送去显示仪表显示或输入自动调节系统，进行这一参数的自动调节。

三、转 换 单 元

通过转换单元，可将不同系列的单元组合仪表，互相沟通，联合使用。例如气电转换器，可以将气动单元仪表某一通道信号（ $0.2 \sim 1 \text{ kgf/cm}^2$ ），连续地按比例转换为DDZ-Ⅱ型单元组合仪表的通道信号（即 $0 \sim 10 \text{ mA}$, D. C），从而将气动信号转入DDZ-Ⅱ型单元

仪表装置中,实现参数显示或自动调节。又如DDZ-Ⅲ型单元仪表某一通道信号(如:1~5V直流电压的控制室联络信号),经电气转换器,连续地按比例转换为 $0.2\sim 1\text{kgf/cm}^2$ 的气动输出信号,就可引入气动单元仪表装置中,进行显示或自动调节。从而实现电动与气动两个不同系列的单元组合仪表间的联合使用。

此外,通过毫伏转换器、频率转换器,以及上面提及的气电、电气转换器,还可将一些非单元组合仪表器件或基地式仪表所测得的表征工艺参数的气动或电动信号,转换为单元组合仪表的标准通道信号。因此,转换单元是起着扩大仪表使用范围的一种重要器件。

四、给定单元

给定单元的仪表器件可供人工调整,使它的输出通道信号恒定为一个任意需要的输出信号值。这个信号值输入调节单元,就是工艺控制参数的给定值,或作为供计算单元的常数值,又可作为送往执行机构去的手动遥控信号值,而最常用的是作为调校同一系列仪表器件时的参比信号源。

五、调节单元

调节单元是一种依据工艺控制参数的给定值与实际生产的测量值之间的偏差,按照设定的调节规律进行运算,实现生产过程自动调节的仪表器件。按它们的功能来划分,可分为基本类型(常简称“基型”)调节器和特种调节器两类。

1. 基型调节器

基型调节器是一种完成比例、比例积分、比例微分和比例积分微分等作用的仪表器件。由于上述几种运算规律,是自动调节过程的基本规律,因此称这一类调节器称为“基型调节器”。

基型调节器有许多种,一般都以它所能完成的调节规律来称呼,如完成比例作用的,就叫作“比例调节器”。在图纸、书刊等资料上,基型调节器件的名称,常用几个不同的字母来表示,它们的意思分别是:P—代表比例作用(这是英语“比例”一词的简写,以下类同);I—代表积分作用;D—代表微分作用。

在单元组合仪表中,实现上述三种基本作用规律的调节器件,既有单一作用的,如比例调节器、微分调节器等;也有复合作用的,如比例积分调节器、比例微分调节器以及比例积分微分调节器等。

2. 特种调节器

复杂的工艺生产过程,参数自动调节系统用基型调节器,很难取得满足工艺需要的调节效果。尤其那些容易发生超温、超压和易燃、易爆的对象,它们所要求的调节效果、调节系统的安全可靠性,就更严格。这就相应采取一些特殊的措施,来满足工艺条件的要求。通常都是在基型调节的基础上,加装一些附加环节,来补足这些特殊要求的,这样就出现了特殊调节器。

特种调节器的品种很多,如间歇调节器、自选调节器、限幅调节器、前馈调节器、跟踪调节器、非线性调节器、伺服型调节器,以及配合计算机用的调节器等。它们在QDZ型和DDZ-Ⅲ型仪表中,作为一个完整的单一器件出现,几乎是没有的,因此在生产过程中需要时,则利用一些其它单元的,或特殊制作的器件,与基型调节器组合而成,所以体积较大;但在DDZ-Ⅲ型仪表中,则是作为单一的器件,这些器件,也是在基型调节器的

基础上，加装一些特殊附加作用环节而构成，由于都是属于集成电路元件和线路之间的增减改变，没有特殊的机械连接等复杂装置，因此体积小、制作方便。这也是DDZ-Ⅲ型仪表品种齐全的一个优越性。

六、显示单元

显示单元是将生产过程的各种参数，用记录笔、数字或指针色带、报警等不同方式显示出来，供操作人员了解和判断生产过程的动态，作为操作及管理的依据。因此，显示单元的仪表器件，也相应地有记录仪、指示仪和积算器等几种类型。

记录仪有一笔、二笔、三笔记录仪之分；同样，指示仪也有一针到四针的指示仪。它们的笔数或针数，也是表示它能记录或指示多少个参数。

气动积算器是一种转轮式机械跳字装置，它显现的数字与输入信号成平方比例关系，常与孔板及差压变送器联合，进行流量的积累。但电动单元组合仪表中，除了平方积算器外，还有比例积算器。

七、辅助单元

辅助单元是组合仪表中起辅助配合和补充作用的一些仪表器件。它包括有手动操作器、信号器、继动器、切换器、报警器等许多品种。

八、安全单元

安全单元目前是DDZ-Ⅲ型电动单元组合仪表中特有的重要单元。它是通过在仪表内部线路结构上，采用有效的隔离措施，把进入易燃、易爆的危险场所而又可能引起火花、发热的（电）能量，限制在安全定额以内。这样，即使在现场环境中出现短路、断路时所产生的火花，以及元件故障发热时，由于（电）能量被限制在很小的范围内，它本质上不会点燃、引爆危险气体或液体，从而达到安全火花型防爆等级的标准。

第二章 气动仪表的基本元件

气动仪表装置中的基本元件可分为两种类型，即弹性元件和流通元件。

第一节 弹性元件

弹性元件包括有：波纹管、弹簧管以及各种类型的膜片。

一、波纹管

波纹管（见图2-1 a）是一个波状柱壁的圆柱形弹性元件。在气动仪表装置中，波纹管的使用范围很广，可用作敏感元件、导管连接的挠性连接元件、密封装置、弹性气容和分隔器件等。其制造材料主要是黄铜、锡磷青铜、不锈钢和铍青铜薄板。壁厚一般在0.1~0.3毫米左右。

波纹管的刚度较小，受到轴向压力时，其受力面积变化较小；而轴向位移较大。并且有良好的线性关系（其特性曲线见图2-1 b）。其工作情况可按下式计算：

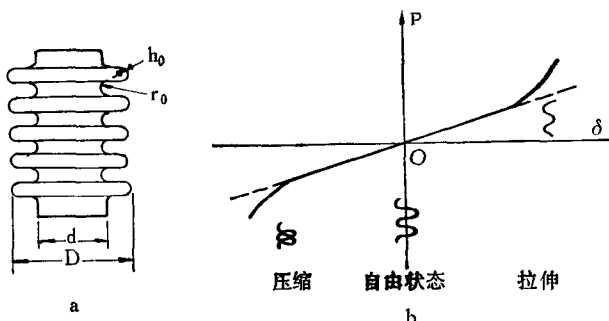


图 2-1 波纹管外形及特性曲线

$$\delta_p = Pf \frac{1 - \mu_1^2}{Eh_0} \cdot \frac{n}{A_0 - \alpha_1 A_1 + \alpha_1^2 A_2 + B_0 \frac{r_0^2}{d^2}}$$

式中： δ_p ——波纹管受压力P时的位移量，mm；

P——作用于波纹管的压力，kgf/cm²；

f——波纹管有效面积，cm²，它与波纹管内径d和外径D关系为

$$f = \frac{\pi}{16}(d + D)^2;$$

E——波纹管材料弹性模数；

μ_1 ——波纹管材料波桑比（对于黄铜和钢来说， $\mu_1 \approx 0.3$ ）；

h_0 ——波纹管壁厚，mm；

n——全部工作波纹数；

r_0 ——波的弧度；

α_1 ——波纹管的几何参数，它由下式确定：

$$\alpha_1 = \frac{4r_0 - a}{2(D - d - 2r_0)}$$

其中：a——波沿间的原始间隙；

其余 B_0 、 A_0 、 A_1 和 A_2 等系数,是根据参数 K 和 m ,由图2-2中的曲线决定。
其中:

$$K = \frac{D}{d}, \quad m = \frac{r}{\frac{1}{2}d}, \quad r \text{ 为波的半径。}$$

以上计算公式较复杂,且制作好的波纹管,其壁厚不容易做得均匀,因此取得的计算结果,也只能是个近似值。通常都采用实验方法来测定、核对有关参数。尤其是在一些仪表器件中,那些配对使用的波纹管,更是这样处理。

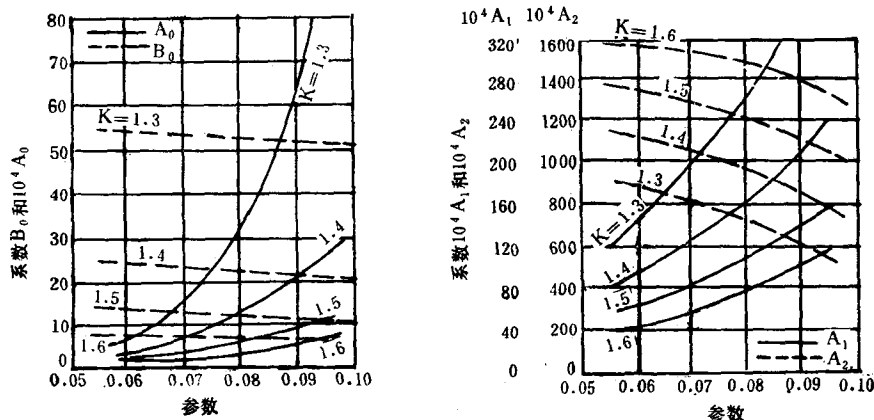


图 2-2 波纹管计算图

二、弹 簧 管

用磷青铜制造的弹簧管一般可作为压力检测变送器的敏感元件。如图2-3所示,它是一种椭圆形截面的空心管,弯成圆弧状,其开口端带有丝扣接头,固定在仪表壳体上;在封闭端——自由端带有与传动簧片连接的螺栓及螺母。

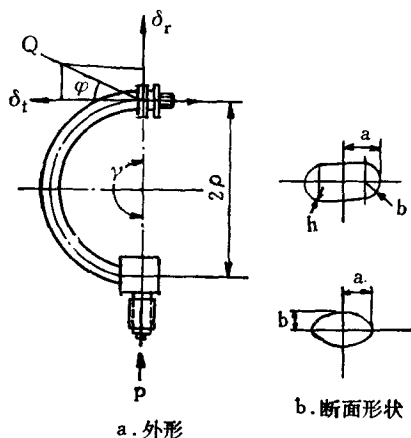


图 2-3 弹簧管及其位移示意图

当弹簧管的开口端通入压力时,扁平椭圆弯曲的弹簧管,其弯曲半径即增大、自由端产生位移。此位移量与压力的大小有关,还与弹簧管管壁厚度等有关。

1. 薄壁管

弹簧管管壁厚度 $h < 0.7b$ 时,称为“薄壁管”其自由端的位移量与感受压力的大小关系为:

$$\frac{\Delta\gamma}{\gamma} = p \frac{1-\mu^2}{E} \cdot \frac{\rho^2}{bh} \cdot \frac{a}{\beta+x^2}$$

式中: γ 与 $\Delta\gamma$ ——弹簧管受压力前的中心角与受压力后中心角的变化量,度;

p ——弹簧管内外压力差, kgf/cm^2 ;

E ——弹性模数;

μ ——波桑比（对于钢与黄铜 $\mu \approx 0.3$ ）；

ρ ——弹簧管曲率半径，mm；

a ——弹簧管长半径，mm；

b ——弹簧管短半径，mm；

h ——弹簧管壁厚，mm；

α 及 β ——取决于 $\frac{a}{b}$ 的系数，见表2-1；

x ——常数，由 $x = \frac{\rho h}{a^2}$ 可得。

表 2-1 系数 α 与 β 的值

截面形状	系 数	比 值 $\frac{a}{b}$											
		1	1.5	2	3	4	5	6	7	8	9	10	>10
椭 圆	α	0.750	0.636	0.566	0.493	0.452	0.430	0.416	0.406	0.400	0.395	0.390	0.368
	β	0.083	0.062	0.053	0.045	0.044	0.043	0.042	0.042	0.042	0.042	0.042	0.042
平 椭圆	α	0.637	0.594	0.548	0.480	0.437	0.408	0.388	0.372	0.360	0.350	0.343	0.267
	β	0.096	0.110	0.115	0.121	0.121	0.121	0.121	0.120	0.119	0.119	0.118	0.114

弹簧管的中心角改变时，其自由端沿着Q方向位移（如图2-3所示），Q与管的切线的交角 φ ，将位移量 δ 分解为径向和切向两个分量 δ_r 与 δ_t 。其中：

$$\delta_r = \frac{\Delta\gamma}{\gamma} \rho (1 - \cos\gamma)$$

$$\delta_t = \frac{\Delta\gamma}{\gamma} \rho (\gamma - \sin\gamma)$$

$$\delta = \frac{\Delta\gamma}{\gamma} \rho \sqrt{(\gamma - \sin\gamma)^2 + (1 - \cos\gamma)^2}$$

$$\cos\varphi = \frac{\gamma - \sin\gamma}{\sqrt{(\gamma - \sin\gamma)^2 + (1 - \cos\gamma)^2}}$$

2. 厚壁管

当弹簧管壁厚 $h > (0.7 \sim 0.8)b$ 时，自由端的位移量与感受压力的大小的关系为：

$$\frac{\Delta\gamma}{\gamma} = p \frac{1 - \mu^2}{E} \cdot \frac{\rho^2}{bh} \cdot \frac{1 - \bar{x}}{\frac{h^2}{12b^2} \bar{x}}$$

式中系数 $\bar{x}$ 与 x 的关系 $\left(x = \frac{\rho h}{a^2} \right)$ ，由图2-4确定。

其余系数的确定，以及符号的意义，与前述同。

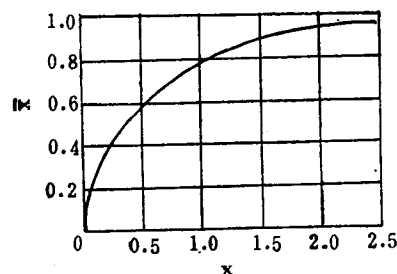


图 2-4 $\bar{x}$ 与 x 的关系曲线

三、膜 片

膜片是气动仪表装置中使用最广的弹性元件，因此对它有较高的要求，即在机械强度方面，能承受 2kgf/cm^2 或更高一些的气压；在温度影响方面，能在 $-10\sim 60^\circ\text{C}$ 的温度环境中正常工作；在特性上，要求有较好的线性段，并且滞环（即增加负荷压力时的变形量，与减少负荷压力时的变形量不同，其位移最大的变量和最大位移量的比值）要小，要求保持在 $0.1\sim 0.2\text{mm}$ 左右；其方向性和厚度，要求均匀、表面光滑和不透气；而且要求耐油、耐酸碱或腐蚀性气体的性能较强。

膜片由它的制造材料来区分，有金属膜片和橡胶膜片两种类型；从外形来区分，则可分为平面与波纹膜片两种。

1. 金属膜片

制造金属膜片的材料，主要有磷青铜、铍青铜或不锈钢薄板等。平面金属膜片的线性较差，当负荷增加时，它的位移却逐渐减少。但将金属膜片，压制成具有同心圆波纹时，则其线性在一定范围内得到很大的改善；而且刚度也提高。因此，一般都采用波纹金属膜片。金属波纹膜片（见图2-5）常用作变送器中的敏感元件，如差压变送器、双法兰液位变送器、单法兰液位变送器中的金属膜盒和隔离膜片，以及变送器或显示记录仪表中的小放大器中的背压膜片（常叫做“星形膜片”或“菊花膜片”）等。其它方面则应用较少。

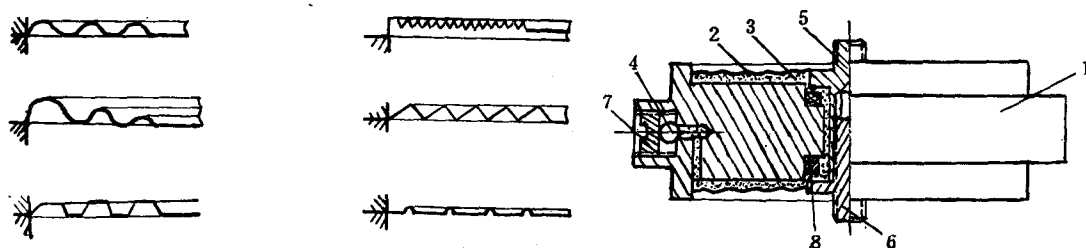


图 2-5 各种波纹金属膜片及膜盒

1—不锈钢箱体；2—波纹金属膜片；3—硅油；4—密封钢珠；5—内螺纹硬芯；6—外螺纹硬芯；7—封头螺丝；8—O型垫圈

2. 非金属膜片

非金属膜片常以橡胶为主要制造原料，故也叫“橡胶膜片”。实际常用的是由耐油的丁腈橡胶，制成平面的或波纹的、有夹层或无夹层的各种类型薄片。夹层材料有杭纺、电力纹、卡普龙或聚酰胺（尼龙）等多种。膜片一般厚度为 $0.07\sim 0.12\text{mm}$ 之间，也有厚达 $0.25\sim 0.4\text{mm}$ 的。

橡胶膜片常用在各种类型的铝环室叠制气动仪表中，如QTL-500比例积分调节器、Q TW系列微分器、QJJ加法器，以及继电器、切换器、定值器等。根据使用要求，橡胶膜片有平面的和波纹的，而且常与铝制硬芯配合，组成带排气阀座、挡板等元件，以及与铝环室组成旨在提高其工作特性的常压气室（见图2-6）。

橡胶膜片在气动仪表中，大多与铝制（方的或圆的）环室配合，用螺栓紧固起来。因此，它既是工作的弹性元件，也是铝环室之间的隔离与密封件。所以，在装配时对夹紧螺栓的松紧程度，或是膜片硬芯组与铝环室中轴线的偏心，都会引起相当可观的误差。这是

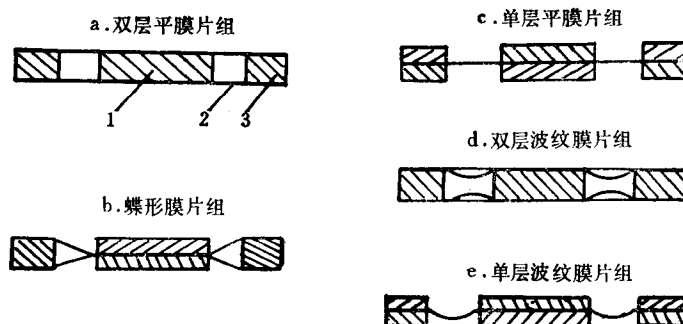


图 2-6 橡胶膜的组装形式
1—铝制硬芯；2—橡胶膜片；3—铝制环室

与金属膜片所不同的。

实践证明，橡胶膜片连续工作比之断续工作，其稳定性更好。因此，在工作起始阶段与工作一段时日，它具有的特性，是会有差别的。

3. 膜片的特性

(1) 金属膜片 它有衰减特性。可以通过压制同心圆波纹来改善，而且波纹深度增大，膜片的特性曲线得到更好的改善（见图2-7）。同时，波纹几何形状不同的金属膜片，其特性曲线也不同（见图2-8）。上述这两种情况，对膜片特性的影响，其原因是膜片几何形状的改变，均引起其刚度的变化。同时，当金属膜片受力时，若位移量很小时，其主要是弯曲变形，它的特性曲线相应地近于线性。但当位移量较大时，膜片上不仅是有弯曲变形，而且还有拉伸变形，它的特性曲线就显著地呈现为非线性。

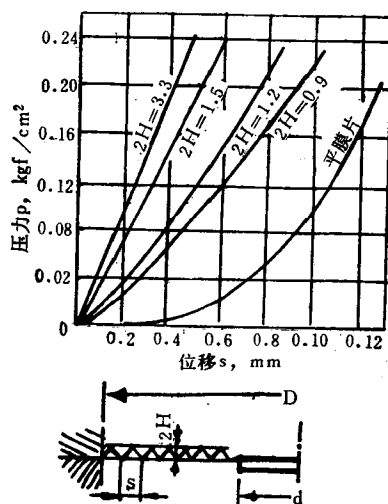


图 2-7 波纹深度不同时膜片的特性

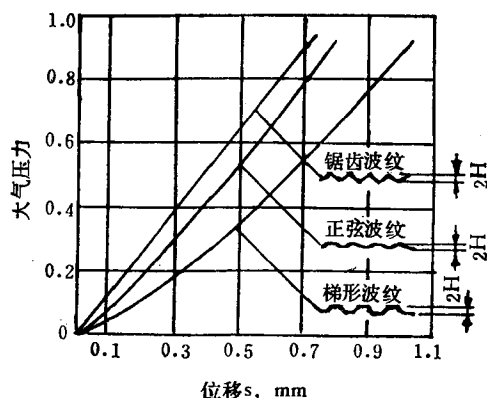


图 2-8 波纹形状不同时膜片的特性

(2) 夹层橡胶膜片 它的特性曲线是非线性的。由于这种弹性元件的弹性迟滞，以及它工作过程中膜片的有效面积的变化，因此在负荷变化的过程中，膜片的特性曲线出现滞环（见图2-9）。而且，经很多实验表明，如果能限制膜片的位移量，则此滞环可以大大

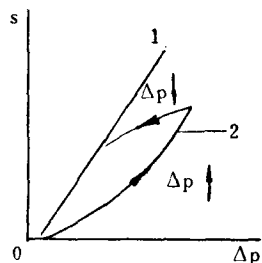


图 2-9 夹层橡胶膜片的特性

减小，使膜片的特性曲线得到改善。

这种膜片的有效面积，因受力产生位移时也改变，如图2-10所示，膜片的有效面积 f_x 及其位移量 s 之间的关系，可从膜片波峰切开的断面边缘明显看出，其四周有向外扩散的水平分力 τ ，而且互相平衡，并且：

$$F_p = P \frac{\pi}{4} D_x^2$$

$$f_x = \frac{\pi}{4} D_x^2$$

式中： D_x ——波峰直径，亦即有效直径。

当橡胶膜片产生位移 s 后，其波峰由 x 点移至 n 点时，其有效直径由 D_x 变为 D_n ，由于弧长 l 没有改变（但曲率是改变了），则有效直径的变化情况为：

$$\Delta D_n = D_x - D_n = 2\Delta R_n$$

$$\Delta R_n = y \sin \alpha$$

$$y = -\frac{b}{2} \operatorname{ctg} \beta_n$$

$$b = \frac{S}{\sin \alpha}$$

所以：

$$\Delta D_n = 2y \sin \alpha = S \operatorname{ctg} \beta_n$$

或：

$$\frac{\Delta D_n}{a} = \frac{s}{a} \operatorname{ctg} \beta_n$$

双从弧度关系可知：

$$\beta_n = \frac{l_n}{2r_n}$$

而：

$$\sin \beta_n = \frac{b}{2r_n} = \frac{\sqrt{a^2 + s^2}}{2r_n}$$

因此：

$$\frac{\sin \beta_n}{\beta_n} = \frac{\sqrt{a^2 + s^2}}{l_n} = \frac{a}{l_n} \sqrt{\left(\frac{s}{a}\right)^2 + 1}$$

根据上列式中，若已知 a 、 l 及 s ，则可求出有效直径的增量 ΔD_n 。图2-11中，实线为实验测得的结果；虚线为理论计算的结果。很明显，两者之间有所差别，但却很接近。

当膜片两侧受有压力差 ΔP 而产生位移时，随着压差的增加，膜片的位移也迅速增大。当在某一位移时，如果压差减小，则膜片的有效直径将从 D_{n1} 变为 D_{n2} （见图2-12 a 及 b）；而当膜片处于中间位置时，压差值由增大的方向，变为减小的方向，对有效面积的影响则消失，亦即对有效面积无影响。这种原因所引起的滞环，常用双膜片组成的“过渡气室”来消除（如图2-12 c）。但却带来制造成本增加和装配工作复杂的缺点。从前述理论计算分析和无数试验表明，限制膜片的位移量 s ，则可使特性曲线中的滞环大大减少

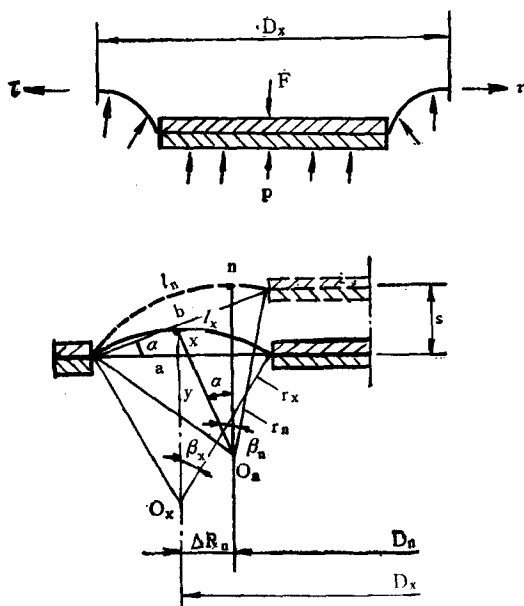


图 2-10 橡胶膜片受力和位移示意图