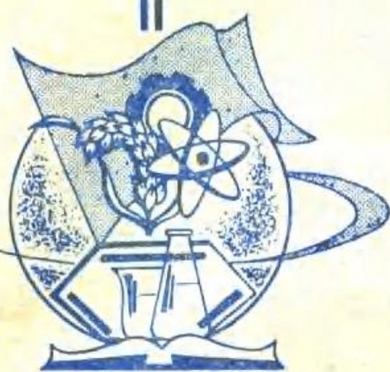


中等专业学校试用教材



电动调节仪表

吉林化学工业公司化工学校等合编

李鹤龙 主编

化学工业出版社

TH 862
8
3

中等专业学校试用教材

电 动 调 节 仪 表

吉林化学工业公司化工学校等合编

李鹤龙 主编

工 业 出 版 社

目 录

绪论	1
----------	---

第一篇 DDZ-I型电动单元组合仪表

第一章 概述	3
第一节 DDZ-II型仪表的特点	3
第二节 DDZ-II型仪表的单元划分及 型号命名法	3
第二章 变送单元	5
第一节 差压变送器	5
一、概述	5
二、差压变送器的 结构及工作原理	5
三、差压变送器的校验及调整	24
四、差压变送器的 一般故障及检修	26
第二节 温度变送器	28
一、概述	28
二、工作原理	30
三、温度变送器的校验及调整	43
四、温度变送器的 一般故障及检修	45
复习思考题一	47
第三章 调节单元 (统一设计)	48
第一节 概述	48
第二节 调节器的调节规律	48
一、自动调节系统的基本概念	48
二、调节器的调节规律	49
第三节 调节规律的实现	55
第四节 调节器的工作原理与线路分析 (DTL-121型)	60
一、输入回路	60
二、自激调制式直流放大器	62
三、PID反馈回路	69
四、调节器的动态特性	69
五、手动操作及自动跟踪电路	78
第五节 DTL-121型调节器 的校验及调整	80
一、主要技术指标	80
二、调节器的调校	80
第六节 调节器的故障和检修	83
一、典型故障的检查及分析	83
二、一般故障及检修	84
复习思考题二	86
第四章 计算单元	87
第一节 概述	87
第二节 开方器(DJK-03型)	87
一、用途	87
二、工作原理	88
第三节 开方器的调校	96
一、DJK-03型开方器 的主要技术指标	96
二、调校	96
第四节 开方器的一般故障和检修	97
一、典型故障分析	97
二、一般故障及检修方法	98
复习思考题三	99
第五章 显示单元	100
第一节 概述	100
第二节 比例积算器(DXS-102型) 的工作原理	100
一、方块图	100
二、各组成环节的 原理及线路分析	101
第三节 比例积算器的调校	108
一、主要技术指标	108
二、DXS-102型比 例积算器的调校	108
第四节 DXS-102型比例积算器的 一般故障及检修	109
复习思考题四	110
第六章 执行单元	111
第一节 概述	111
第二节 DKJ型电动执行器的工	

作原理及线路分析	114
一、伺服放大器	114
二、执行器	117
第三节 电动执行器的调校	122
一、主要技术指标	122
二、电动执行器的调校	122
第四节 电动执行器的一般故障及检修	124
一、伺服放大器的故障和检修	124
二、执行器的故障和检修	127
复习思考题五	127

第七章 其他单元	128
第一节 给定单元——恒流给定器 (DGA-02型)	128
一、概述	128
二、工作原理	128
三、主要技术指标	130
第二节 辅助单元	130
一、Q型操作器(DFQ-02型)	130
二、闪光报警器(JBJ-II型)	132
复习思考题六	137

第二篇 DDZ-II型电动单元组合仪表

第八章 概述	138
第一节 DDZ-III型仪表的特点	138
第二节 DDZ-III型仪 表的分类及命名	140
一、品种与分类	140
二、型号命名及规格编号	141
第九章 变送单元	142
第一节 差压变送器	142
一、概述	142
二、结构及工作原理	142
三、位移检测放大器	144
四、差压变送器的静态误差	151
五、调校及故障处理	153
复习思考题七	156
第二节 温度变送器	158
一、概述	158
二、放大单元	158
三、量程单元	168
四、调校及故障处理	184
复习思考题八	188
第十章 调节单元	189
第一节 概述	189
第二节 基型调节器	189
一、输入电路	191
二、比例微分电路	195
三、比例积分电路	198
四、手动电路	203
五、调节器的传递函数	206
六、输出电路	208
七、指示电路	210
八、调零电路	211

第三节 调节器的调校及故障处理	213
一、仪表结构及主要技术指标	213
二、仪表的调校	215
三、使用与维护	218
四、故障处理	220
复习思考题九	223
第十一章 安全单元	225
第一节 安全火花型防爆	225
一、防爆基本概念	225
二、安全火花型防爆仪表的优点	226
三、安全火花型防爆 仪表及防爆系统	226
四、安全火花型防爆仪 表的使用环境温度	227
五、仪表的防爆等级标志	228
第二节 安全保持器的原理	228
一、安全保持器的几种形式	228
二、隔离式安全保持器的 结构原理	230
第三节 安全保持器的线路分析	231
一、输入式安全保持器	231
二、输出式安全保持器	236
第四节 安全保持器的调校及 故障处理	238
一、主要技术条件及技术指标	238
二、调校	239
三、故障处理	240
复习思考题十	241
第十二章 其他单元	242
第一节 手动操作器	242
一、DTQ型手动操作器	242

二、便携式手动操作器	244	二、结构及工作原理	264
三、手动操作器的 调校及故障处理	246	三、仪表调校及故障处理	265
第二节 电源箱	249	复习思考题十一	267
一、概述	249	第十三章 电动单元组合	
二、铁磁谐振稳压器	250	仪表应用举例	268
三、整机线路	252	第一节 II型仪表的应用举例	268
四、DDX-3010型电源箱的调校、 使用及故障处理	253	一、用II型仪表构成自 动调节系统	268
第三节 分电盘	258	二、自动调节系统中各 单元仪表联接举例	270
一、概述	258	第二节 III型仪表的应用举例	271
二、工作原理	258	一、简单调节系统	271
三、仪表校验及故障处理	261	二、串级调节系统	271
第四节 电/气阀门定位器	263	复习思考题十二	272
一、概述	263		
第三篇 其他调节仪表			
第十四章 动圈式调节仪表		二、技术指标	279
(XCT型)	273	第二节 工作原理	280
第一节 动圈式双位调节器	273	第三节 数字给定单元	281
一、XCT-101型双位调 节器的工作原理	273	第四节 放大单元	285
二、双位调节器的动作规律	275	一、微伏放大器的工作原理	285
第二节 连续电流输出调节仪表 (XCT-191型)	277	二、电路分析	285
第十五章 TA系列简易式调节仪表	279	第五节 调节单元	289
第一节 概述	279	一、场效应管分差式源极跟随器	289
一、用途与特点	279	二、固体电路5G922直流放大器	291
		三、直流放大器和PID反馈回路	292
		复习思考题十三	292

绪 论

一、单元组合仪表的产生及特点

以前,组成自动调节器的各个环节装在一个表壳里,把从检测元件来的信号作为输入信号,该表的输出信号直接控制执行机构。这类仪表通常称为基地式调节仪表。一般只用于构成单回路调节系统,实现局部自动化。

随着工业生产的不断发展,生产规模的日益扩大,要求对生产工艺过程进行集中控制,实现生产过程的综合自动化,以便更好地监视和控制整个生产过程。而基地式调节仪表不能适应这一要求。为了适应工业生产发展的需要,从五十年代开始就逐渐产生了单元组合仪表。这种仪表是根据自动检测与调节系统中各组成环节的不同功能和使用要求,分成能独立实现一定作用的几个单元,而各单元之间的联系则采用统一标准信号。这些单元的不同组合就能构成各种不同的自动检测或自动调节系统。

单元组合仪表按其所用的能源,可分为电动单元组合仪表(简称DDZ仪表)和气动单元组合仪表(简称QDZ仪表)。

电动单元组合仪表根据其所用的基本元件又可分成DDZ-I型(电子管为基本元件)、DDZ-II型(晶体管为基本元件)和DDZ-III型(采用集成电路)三个系列。

电动单元组合仪表都采用统一的标准信号,DDZ-I型和DDZ-II型为 $0\sim 10\text{mA}$, D.C.; DDZ-III型为 $4\sim 20\text{mA}$, D.C.。

电动单元组合仪表有很多优点。例如这些单元仪表的不同组合可以实现各种调节规律的自动调节系统;采用统一标准信号,可以使指示、记录单一化;更重要的是,便于和电子计算机及其他数字化装置联用,适用于大规模生产的自动化要求。但是对于简单的参数自动调节系统来说,应用它,无论在经济上、还是在安装维修上,都不如基地式自动化仪表优越,基地式仪表结构简单、紧凑、成本低、维修方便。另外,单元组合仪表一般来说是连续作用的调节装置,对于那些调节质量要求不高的系统,在一般情况下,往往不必采用复杂的自动化仪表,大多采用断续作用的仪表就可以满足要求了。所以,具有断续作用或PID连续作用的动圈调节仪表、TA系列仪表等简单调节器在小型企业里还是大量采用的。

二、本课程的特点、基本内容及要求

《电动调节仪表》这门课是中等专业学校化工仪表专业的主要专业课。它包括DDZ-II型电动单元组合仪表和DDZ-III型电动单元组合仪表以及基地式仪表。在学完“电工学”、“晶体管电路基础及脉冲技术”、“自动调节原理基础”等专业基础课后讲授,所以有关放大、调制、振荡、整流、稳压、单稳、双稳、多谐振荡、间歇振荡等内容仅作简单介绍。我国各仪表厂生产的电动单元组合仪表的种类很多,在原理、结构、线路上又都有一些差别,本课程只介绍全国统一设计的产品。

根据化工仪表专业的教学计划中所规定的培养目标,在本课程中讲述电动单元组合仪表的工作原理、结构、调校及维修等方面知识,有关仪表的设计和计算等不予阐述。

三、国内外现状及今后的发展趋势

解放前,我国根本没有自动化仪表的制造工业。在工业生产中所用的仪表都是进口的一

些陈旧落后的产品，其型式五花八门，根本不成系列。

解放后，在中国共产党的正确领导下，建立起了自己的化工、石油、发电、机械制造等工业体系。随着工业的发展，我国的自动化仪表行业也迅速地从无到有，从小到大地发展起来。

我国电动单元组合仪表的发展是从五十年代后期开始的，大体上分为电子管型、晶体管型和集成电路型等三个阶段。DDZ-I型仪表早在1964年就开始生产了。它在石油、化工、冶金、电站等工业部门得到了应用，效果较好。但是由于DDZ-I型仪表采用的是电子管元件，调节器采用多单元的构成形式，因而体积大，外部接线也较复杂。吸收DDZ-I型仪表在研制、使用过程中的经验教训，接着开始了DDZ-II型仪表的研究工作。现在DDZ-II型仪表已经广泛地应用在化工、石油、冶金、发电等部门。七十年代中期，在DDZ-II型仪表的基础上，进一步研究成以集成电路作为主要元件的DDZ-III型仪表。这种仪表采用了集中供电方式，并采用4~20mA, D.C.的国际统一标准信号；它是一个本质上安全型的仪表，是在DDZ-II型的性能上扩大了一些功能。目前DDZ-III型仪表正在一些生产现场运行，并逐步推广使用。几年来现场运行证明它的性能是稳定的，效果是良好的。

国外对电动单元仪表仍在进行多方面的改进和研究，其发展动向简述如下。

(1) 探索应用新技术，采用超声波、激光、核磁共振、扩散硅应变片、旋涡等新技术，使变送器有重大改进。例如：差压变送器采用两线制传输，并在原理上从力平衡式向位移式发展；差压变送器的检测部分和放大部分向一体化的方向发展。例如412型电子式压力变送器，它是一个扩散硅应变片的桥式变送器。DPF-100系列电子式差压变送器，是一种采用差动电容原理的开环式电差压变送器。

(2) 单元组合仪表向插件式发展 其结构上分成两大部分，一个是控制柜，另一个是监控台。例如美国的Spec 200系列的插件式电子模拟控制装置；日本（横河）的1100系列插件式电子控制装置；西德（H&B）的Contronic 2系列插件式控制装置等等。

(3) 插件式电子模拟控制仪表作为DDC的计算机的模拟后备装置使用 例如日本（北辰）制造的AD系列（一种组件化的仪表系统）在DDC系统中，作为模拟后备装置使用。即插件式电子控制装置和计算机组成混合式电子控制系统。

(4) 最近几年有些国家朝着以微型处理机为核心的集中分散型控制系统的方向发展。这样做对提高包括工艺——现场在内的可靠性、安全性和经济性是有利的。例如日本（横河）制造的CENTUM综合仪表控制系统，实际上是一种模拟数字混合式控制关统。它包括下面几部分：现场控制站（FCS），由端子板机柜（TBC）和现场调节器机柜（FCC）组成；操作站（OPS），由操作控制台和数据编目控制台组成；后备控制台和打字机；通讯母线（F-Bus）等。

第一篇 DDZ-II型电动单元组合仪表

第一章 概 述

第一节 DDZ-II型仪表的特点

DDZ-II型仪表概括起来有如下的特点。

- (1) DDZ-II型仪表采用0~10mA, D.C. 统一信号。
- (2) 将这套仪表分成几个单元。这样具有通用性, 使用灵活, 改组自动调节系统较容易。各单元适当地组合, 可构成实现不同的调节规律的调节系统。
- (3) 各单元采用力平衡和电平衡原理, 便于提高仪表的精度、灵敏度和改变测量范围。
- (4) 反应迅速。适合于远距离传送及集中控制。
- (5) 结构设计上贯彻了标准化、系列化和通用化的原则, 以保证同类型产品的互换性。便于使用、维护和降低成本。
- (6) DDZ-II型仪表采用半导体元件、印刷电路和其他新型元件、新工艺, 尽可能采用插接和无触点器件。提高了仪表的先进性、可靠性。

第二节 DDZ-II型仪表的单元划分及型号命名法

我国现已成批生产的DDZ-II型仪表共划分为下面八个单元。

- (1) 变送单元 用来测量压力、流量、温度、液位等参数, 并将测量值转换成0~10mA, D.C. 标准信号之后, 再传送到显示单元或调节单元, 以便进行指示、记录、调节。
- (2) 显示单元 与不同的变送器配合使用, 对各种被测参数进行指示、记录、报警和积算。
- (3) 调节单元 根据被调节参数的测量值与给定值的偏差实现比例、比例积分、比例积分微分等调节规律, 对执行机构输出0~10mA, D.C. 的控制信号。
- (4) 计算单元 根据不同的需要, 对其它单元输出的0~10mA, D.C. 信号进行各种运算(如加、减、乘、除、开方等), 构成各种复杂的自动调节系统。
- (5) 给定单元 用于提供调节单元所需要的给定值信号0~10mA, D.C.
- (6) 转换单元 用来把0.2~1.0kg/cm²的标准气动信号转换成0~10mA, D.C. 的统一标准电信号, 或者把0~10mA, D.C. 的统一标准电信号转换成0.2~1kg/cm²的标准气动信号, 把电动与气动单元组合仪表联系在一起, 从而扩大DDZ仪表的使用范围。
- (7) 执行单元 根据调节单元送来的调节信号或手控信号, 操作阀门或闸板, 以达到调节目的。
- (8) 辅助单元 配合上述单元完成信号切换、遥控等辅助作用。

以上几个单元构成测量调节系统的概况, 以及各单元间的相互关系如图1-1所示。

DDZ-II型仪表各单元的型号由两大部分组成, 中间用短横线分开, 其组成形式如图1-2。

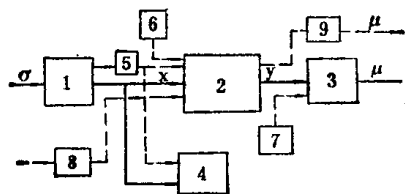


图 1-1 DDZ-II 型测量调节系统方块图

1—变送单元；2—调节单元；3—执行单元；4—显示单元；5—计算单元；6—给定单元；7—操作单元；8—气电转换单元；9—电气阀门定位器； σ —被调量； x —调节器输入量； y —调节器输出量； μ —调节机构的开度。

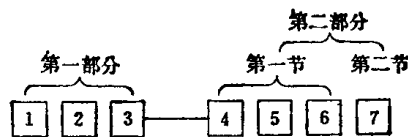


图 1-2 DDZ-II 型仪表各单元型号组成形式

图1-2中第一部分的1、2、3分别由三个汉语拼音大写字母组成：

1 的字母均为D，以表示电动单元组合仪表。

2 为产品大类，用下列字母代表：B——变送单元；G——给定单元；X——显示单元；F——辅助单元；K——执行单元；J——计算单元；Z——转换单元；T——调节单元。

3 为产品小类，用下列字母代表：W——温度、温差；Y——压力；C——差压；L——流量；U——液位；J——机械量；F——成分分析；D——电工量；H——直流毫伏转换；J——交流毫伏转换；P——频率转换；Q——气/电转换；J——加法；C——乘法；S——乘除；K——开方；Z——指示；J——记录；S——积算；B——报警；A——恒流给定；F——分流；L——连续调节；D——断续调节；J——角行程；Z——直行程；F——调节阀；D——电动操作；Y——液动执行；Q——气动操作；X——信号。

第二部分由两节组成。

第一节4、5、6由三位阿拉伯数字组成，表示产品系列、规格和序号，具体内容可由产品手册查出。但变送、显示、调节、执行等单元以外的其余单元则只用二位阿拉伯数字。

第二节7 由一个或几个汉语拼音字母组成，表示附加性能。K——快速；B——防爆；F——防腐。

举例：DBW-100KB型表示电动温度变送器，热电偶式，快速，防爆。DTL-121 型表示电动连续作用式调节器，带手动操作器。

第二章 变 送 单 元

第一节 差 压 变 送 器

一、概述

力平衡式变送器包括差压变送器、压力变送器、流量变送器和液位变送器等。在化工测量及自动调节系统中，DDZ-I型压力、差压变送器是用来把压力、差压、流量、负压、液位等参数，转换成0~10mA, D. C. 信号，作为指示、记录仪表以及调节器或计算机的输入信号，以实现对上述的工业参数的自动检测及自动调节。

压力、差压、流量、液位变送器其工作原理、机械机构（杠杆系统）、晶体管放大器部分是相同的，主要区别在于测量部分的感受元件不同。因此，本节仅以差压变送器（DBC）为例进行讨论。

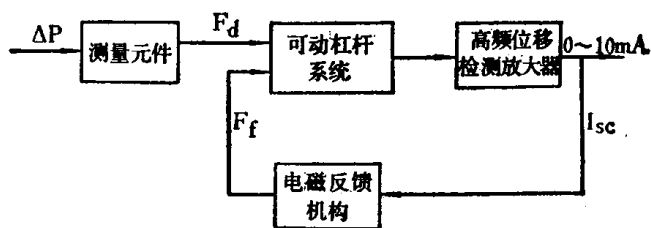


图 2-1 差压变送器的总体组成图

力平衡式差压变送器的总体组成如图2-1所示。

它由测量元件、可动杠杆系统、高频位移检测放大器、电磁反馈机构等组成。

下面围绕着四个部分着重讨论仪表的工作原理、结构特点和作用、位移检测放大线路的原理、仪表调校等问题。

二、差压变送器的结构及工作原理

图2-2是DBC型差压变送器的结构简图。差压变送器的工作原理如图2-3所示。

被测参数由感受元件（膜片、膜盒、波纹管等）转换成作用于杠杆A上的集中作用力 F_r （称之为测量力），使杠杆绕支点O产生微小的偏转角。由于杠杆的作用，使安装在杠杆1端上的检测片2和检测线圈4之间的距离发生变化，从而改变位移检测放大器6的检测线圈4的电感量。经过位移检测放大器6的转换并放大成为0~10mA, D. C. 输出，作为差压变送器的输出信号。同时该电流通过负载电阻 R_L 和反馈动圈3。由于反馈动圈3是固定在杠杆1上，并处于永久磁钢5的磁场中，当动圈中有电流通过时，动圈就受到电磁反馈力 F_f 的作用。

当测量力 F_r 和反馈力 F_f 产生的力矩达到平衡时，杠杆就停止偏转。显然 F_r 越大，杠杆偏转越大，铝检测片和检测线圈间距离就改变得越多，检测线圈电感量的变化就越大，位移检测放大器的输出电流也越大。只要使输出电流与被测差压之间严格保持一定的数量关系，便实现了把被测的差压转变成直流电流（0~10mA）输出的目的。上述的工作原理可以用如下的简单的数学关系式来说明。

根据力矩平衡原理，有

$$F_r \cdot l = F_f \cdot l' \quad (2-1)$$

而位于均匀磁场中的通电线圈，当线圈的平面法线与磁感应线垂直时线圈边上所受的力为

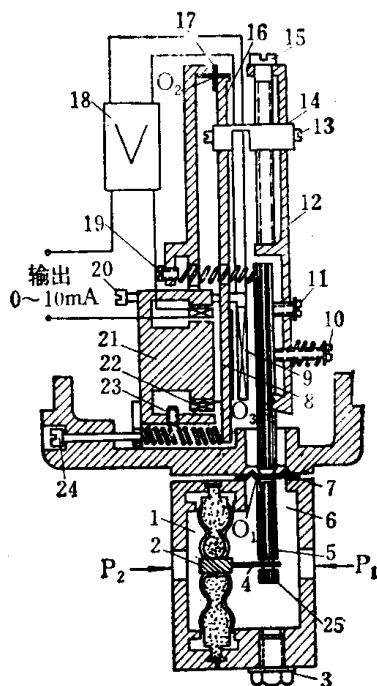


图 2-2 差压变送器结构简图

1—低压容室；2—敏感元件（膜盒）；3—密封螺钉；
4—C型簧片；5—引出杠杆；6—高压容室；7—轴
封膜片；8—铝检测片；9—检测线圈；10—过载保
护装置；11—静压调整螺钉；12—主杠杆；13—紧
固螺钉；14—连接簧片；15—量程调整装置；16—
副杠杆；17—十字簧片；18—电子放大器；19—迁
移装置；20—位移检测调整装置；21—永久磁钢；
22—反馈动圈；23—磁分路螺钉；24—调零装置；
25—连接螺母

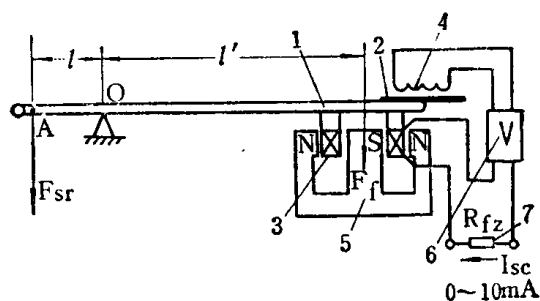


图 2-3 差压变送器工作原理图

1—杠杆；2—铝检测片；3—反馈动圈；4—检测线
圈；5—永久磁钢；6—位移检测放大器；7—负载

$$F_f = \pi B D N I_{sc} \quad (2-2)$$

式中 B ——永久磁钢气隙中的磁感应强
度；

D ——反馈动圈的平均直径；

N ——反馈动圈的匝数；

I_{sc} ——变送器的输出电流。

把式 (2-2) 代入式 (2-1)，可得

$$I_{sc} = \frac{1}{\pi B D N} \cdot \frac{l}{l'} \cdot F_{sr} \quad (2-3)$$

若 B 为常数，并令 $k_f = \frac{1}{\pi B D N}$ ，上式可写成

$$I_{sc} = \frac{l}{l'} k_f \cdot F_{sr} \quad (2-4)$$

又因为

$$F_{sr} = A_d \Delta P \quad (2-5)$$

式中 A_d ——测量元件的有效面积；

ΔP ——被测差压。

把式 (2-5) 代入式 (2-4) 可得

$$I_{sc} = \frac{l}{l'} k_f A_d \Delta P \quad (2-6)$$

从式 (2-6) 可以看出：

(1) 输出电流 I_{sc} 与被测差压成线性关系。

(2) 只要改变 l/l' 或 k_f 值，就可以在相同差压 ΔP 作用下得到不同的输出电流 I_{sc} ，这就是该变送器能很方便地改变量程的根据。

(3) 在同一量程下，要使输出电流 I_{sc} 与被测差压 ΔP 严格保持一定的数量关系，就必须使杠杆比 l/l' 和 k_f 值不变。

要达到力矩平衡，也就是使式 (2-1) 能够成立，必须要有足够大的反馈力 F_f 。因此，

位移检测放大器必须有足够大的放大倍数,以便得到足够大的输出电流 I_c ,而且永久磁场的气隙中必须有足够强的磁场,动圈的匝数或直径必须在允许范围内尽可能大。由于采用了力平衡原理,并且放大器具有足够大的放大倍数,所以杠杆的偏转角是很小的,测量敏感元件由于测量力 F_r 的作用而产生的位移也是微小的(一般变送器的测量元件的位移量都不超过 10μ ,灵敏度高的可达 2μ),即弹性元件的变形很小,基本上只是把被测差压转换成集中作用力而已,不象采用位移平衡原理工作的仪表那样存在作用力与位移之间的非线性误差。而且由于各零部件只是起力平衡作用,没有显著的位移,因而在很大程度上避免了机械传动结构所固有的摩擦力所引起的误差。所以仪表的精度很高,一般国产仪表精度可达0.5级,稳定性也很好。这是采用力平衡原理的突出特点。

(一) 测量部分

差压变送器的测量部分位于变送器的下部,它的作用是把被测介质的压力、差压、液位、比重、流量等信号,转换成相应的测量力 F_r 输出。在差压变送器中常用的测量元件有膜盒或膜片。膜盒的结构如图2-4所示。

膜盒由两块金属膜片1和一个底座2组成。由于膜片的刚度和有效面积都随温度而变化,如果用单膜片结构,则会因温度变化而引起测量误差,所以采用了双膜片结构。这样,在温度变化时,它们两者所产生的误差,可以互相补偿。在膜盒内充有硅油3,它既可用以传递压力,同时,当膜盒处于单向受压状态时,膜盒硬芯4上的齿环5会卡在用聚四氟乙烯塑料制成的密封垫圈6上,

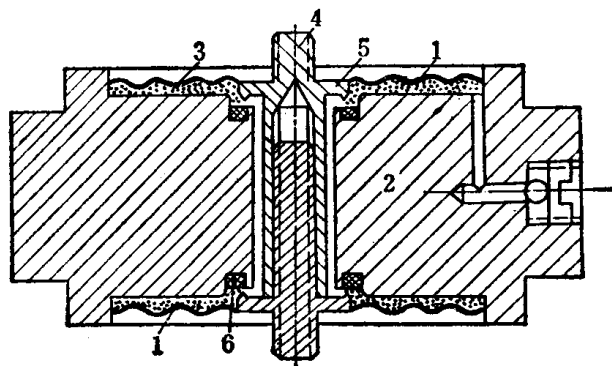


图 2-4 膜盒

1—膜片; 2—底座; 3—硅油; 4—硬芯; 5—齿环;
6—密封垫圈

从而阻断了硅油从受压侧流向另一侧的通路,可使膜片免遭损坏。不过目前由于加工和装配方面的原因,此种结构不能完全解决膜盒单向过载保护问题。因此,在使用过程中还应力求避免单向过载。通常差压变送器在现场安装中导压管道都装有平衡阀。

差压变送器测量头如图2-5所示。它由高低压室4和1、敏感元件(膜片9及膜盒2)、引出杠杆6、连接敏感元件和引出杠杆的C型簧片5及轴封膜片10等组成。当高、低压的压强 P_1 和 P_2 作用于膜盒(或膜片)时就产生测量力 $F_r = A_d(P_1 - P_2)$ (其中 A_d 是膜盒或膜片的有效面积)作用于硬芯7,并经过C型簧片传递给引出杠杆,引出杠杆在该力作用下以轴封膜片为支点而转动一微小角度,把差压信号的变化转换成测量力并传递给后面的杠杆系统。在这里轴封膜片一方面作为引出杠杆的支点,另一方面起密封作用,把高压容室与外界隔绝。一般都是用镍铬钛合金薄片制成。图2-6表示膜盒与引出杠杆之间的连接方式。

(二) 杠杆系统

杠杆系统是力平衡变送器中的机械传动部分,它的作用是把测量力 F_r 与反馈作用力 F_f 进行比较,然后转换成检测片的位移。

在力平衡式变送器中,采用了双杠杆结构,即采用主、副杠杆。这样可以提高量程的可调范围。这是因为在差压变送器中, F_r 是比较大的,而反馈力 F_f 却不可能很大,即使尽量增加线圈的匝数 N ,气隙的磁场强度 B 及线圈的直径 D (这必然要增大反馈装置的体积),

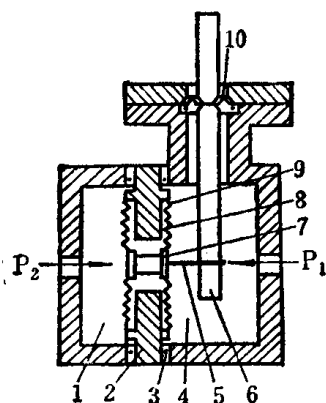


图 2-5 差压变送器测量头

1—低压容器；2—膜盒体；3—密封垫圈；4—高压容室；5—C型簧片；6—引出杠杆；7—膜盒硬芯；8—硅油；9—金属膜片；10—轴封膜片

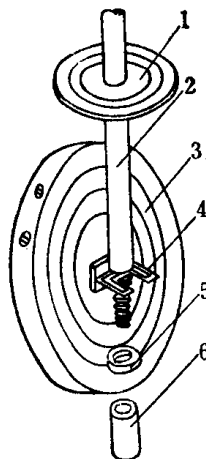


图 2-6 膜盒与引出杠杆的连接

1—轴封膜片；2—引出杠杆；3—膜盒；4—C型簧片；5—垫圈；6—锁紧螺母

F_i 和 F_r 比较起来仍然很小。那么从(2-1)式可以看出，要增加被测差压 ΔP ，那么测量力 F_r 就增大，这样在 F_i 很小的情况下只好增加 l'/l ，这就要求 l' 很长而 l 很短。通过计算可以看出在 l 尽可能短的情况下， l' 有时需要几米长。这显然是仪表体积所不允许的。所以我们不采用单杠杆系统，而必须采用双杠杆系统。目前，在力平衡变送器产品中采用的双杠杆结构有两种形式：有A型和B型，分别如图2-7和图2-8所示。

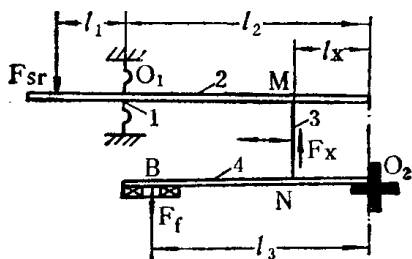


图 2-7 A型双杠杆结构示意图

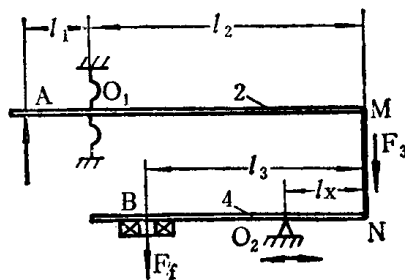


图 2-8 B型双杠杆结构示意图

从图2-7和图2-8可以看出：A型和B型双杠杆结构的主要区别，就在于前者是传力簧片3的位置是可调的，而后者则是副杠杆的支点 O_2 也是可调的。这是用来调量程的，将在下面讲述。

我们以A型结构为例来说明其工作原理及杠杆系统的力平衡关系。图2-2是A型差压变送器的结构示意图。该差压变送器的杠杆系统包括轴封膜片7、主、副杠杆(12和16)、连接主副杠杆的簧片14、十字簧片17、量程调整装置15、零点迁移弹簧19，装于副杠杆末端的铝检测片8和调零弹簧24、过载保护装置10及静压误差调整装置11等。由于考虑到过载保护问题，主杠杆不是由一个杆构成，而是由主杠杆本体部分和引出杠杆两段组成，它们之间用过载保护装置螺钉10、静压误差调整螺钉11及过载保护支点 O_3 连接起来组成一体。当测量力 F_r 在正常范围内时，由于弹簧的作用使引出杠杆与主杠杆本体部分紧贴在一起形成刚性连接，起主杠杆作用，并以轴封膜片7为支点转动。当测量力 F_r 过大时，引出杠杆上端向右

偏转角过大,以致使10上的弹簧被压缩,支点 O_3 自动脱开,以保护杠杆系统的其它零部件不致因测量力过大而损坏。

正常工作时,在测量力 F_x 的作用下,主杠杆以 O_1 为支点顺时针方向偏转一角度,通过簧片14拉动副杠杆16,副杠杆以十字簧片17为支点逆时针方向偏转,装在副杠杆末端的铝检测片8便向检测线圈9靠近,使线圈电感量发生变化,并由电子放大器转换成 $0\sim 10\text{mA}$, D.C. 的电流输出。该电流同时流过反馈动圈22并与永久磁钢相互作用产生反馈电磁力 F_t , F_t 对副杠杆的作用与测量力 F_x 对副杠杆的作用相反而起力负反馈平衡作用,并使杠杆系统回复到接近原来平衡状态。

由图2-7可知,测量力 F_x 通过传力簧片3使副杠杆4受到一个相应的作用力 F_x ,使 F_x 与 F_t 以 O_1 为支点的主杠杆的力矩平衡关系为

$$F_x l_1 = F_t (l_2 - l_x) \quad (2-7)$$

以 O_2 为支点的副杠杆的力矩平衡关系为

$$F_t l_3 = F_x l_x \quad (2-8)$$

把式(2-7)代入式(2-8),即可得整个杠杆系统的力平衡关系式

$$F_t = \frac{l_1}{l_3} \cdot \frac{l_x}{l_2 - l_x} \cdot F_x \quad (2-9)$$

测量力 F_x 与被测差压 ΔP 之间的关系为

$$F_x = A_d \Delta P \quad (2-10)$$

式中 A_d ——膜盒的有效面积;

ΔP ——压强 P_1 和 P_2 的差值,即差压。

从式(2-2)即可写成如下的关系

$$F_t = \pi B D N I_{sc} \quad (2-11)$$

因此,只要将式(2-10)和(2-11)分别代入式(2-9),就可得出差压变送器输入与输出之间的关系

$$I_{sc} = \frac{l_1 l_x A_d \Delta P}{\pi B D N l_3 (l_2 - l_x)} \quad (2-12)$$

令

$$k_t = \frac{1}{\pi B D N}$$

则

$$I_{sc} = \frac{k_t l_1 l_x A_d}{l_3 (l_2 - l_x)} \Delta P \quad (2-13)$$

从式(2-13)可以看出下列几点:

(1) 当 l_x , k_t , l_1 , l_2 , l_3 , A_d 一定时,差压变送器的输出电流 I_{sc} 与被测差压 ΔP 成正比。

(2) 当 $\Delta P = 0$ 时, $I_{sc} = 0$ 。而不同的测量范围(即仪表输出电流变化 10mA 所对应的被测差压的变化值)的上限 $\Delta P_{\max}$ 应使 $I_{sc} = 10\text{mA}$,这可以通过改变 l_x 或 k_t 来实现,这就是改变仪表量程的根据。在实际仪表中, k_t 的变化是通过调整磁分路螺钉23(图2-2)以改变磁钢气隙中的磁感应强度 B 来实现的,这种方法的调整范围是很小的,所以它起量程微调的作用,也有的产品是改变线圈的匝数 N 来实现量程的粗调。 l_x 的改变是通过量程调整螺钉15来实现的,使 l_x 增大,则 I_{sc} 增大,也就是量程变小。相反,使 l_x 减小,则 I_{sc} 减小,也就是量程

变大。由于 l_x 的变化范围增大,对 I_{sc} 的影响也较大,所以起量程粗调的作用。我国目前生产的差压变送器,对同一台仪表的最大量程与最小量程之比为3:1~10:1。所以在使用中根据需要在它的上述范围内可以进行调整。

(3) 仪表的量程(以下用D表示)与 l_x 之间呈非线性关系(参看图2-9)。

如图2-9所示,当 l_x 很小时, l_x 稍有变化,即能导致D有很大的差异。因此,力平衡变送器在使用过程中,应注意不要把量程调整在 l_x 很小的位置,以免因振动或其它原因而使 l_x 稍有变化时(这个变化往往不易察觉的),造成很大的误差。差压变送器的零点调整是用调零机构来实现的。它是通过改变检测片和平面线圈之间的相对距离实现调零的。零点调整分为

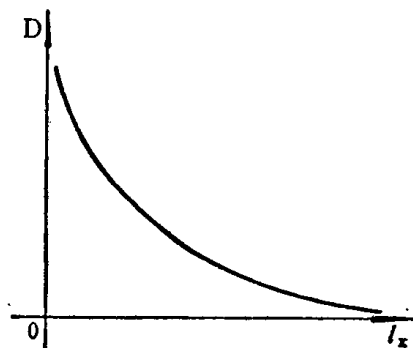


图 2-9 量程调整特性

粗调和细调。粗调是通过调整螺钉20直接调整位移检测线圈的位置,后者通过调零弹簧24可改变副杠杆的初始位置(参见图2-2)。此外,在差压变送器的杠杆系统中还有零点迁移装置。为了提高测量的精度和灵敏度,或者为了适应某些被测对象的特点,要求把差压变送器的零点正向或反向迁移。所谓“零点迁移”,就是把变送器零点所对应的被测参数,迁移到某一个不为零的数值。如果迁移到正值,就叫“正向迁移”,相反,就叫“负向迁移”。零点迁移装置就是在主杠杆上面加装一个可调弹簧,用以产生附加的力矩,使它与起始差压对主杠杆上产生的测量力矩相平衡,如图2-10所示。由于此时变送器的输出 $I_{sc}=0$, $F_x=0$ 。因主杠杆只受到起始差压产生的作用力 F_{sro} 及迁移力 F_0 的作用,故杠杆处于平衡状态时

$$F_{sro} \cdot l_1 = F_0 l_0 \quad (2-14)$$

F_0 的大小和方向要根据 F_{sro} 的大小和方向来决定。当起始差压值 $\Delta P_0 = (P_1 - P_2) > 0$ 时, $F_{sro} > 0$, $F_0 > 0$,这就是正向迁移;当 $\Delta P_0 < 0$ 时, $F_{sro} < 0$, $F_0 < 0$,这就是负向迁移。加装了迁移弹簧以后,若不改变 l_x 的长度,则仪表的量程范围并没有变化,只是把差压变送器的输入输出特性曲线 $I_{sc}-\Delta P$ 在 ΔP 坐标轴上平移了 ΔP_0 而已,如图2-11所示。例如,原来测量范围是0~1000mmH₂O,当零点正向迁移了600mmH₂O后,则测量范围就是600~1600mmH₂O。若要使量程上限仍然为1000mmH₂O,则必须重新调整量程螺钉。如果已知被测差压范围为600~1000mmH₂O,则把变送器的测量范围由0~1000mmH₂O迁移成600~1000mmH₂O,从而提高了测量的准确度,这是零点迁移的一个特点。

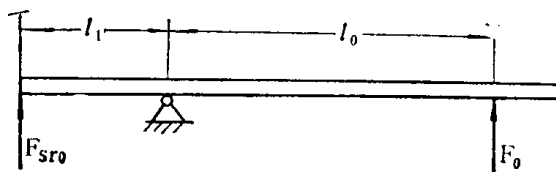


图 2-10 零点迁移的原理

(三) 电磁反馈装置

电磁反馈装置是由反馈动圈和永磁系统组成的。它的作用是把差压变送器的输出电流 I_{sc} 转换成电磁反馈力 F_f ,并作用于副杠杆上与测量力 F_{sr} 产生的力矩互相平衡,从而起到力负反馈作用。

电磁反馈机构如图2-12所示。电磁反馈力 F_f 与变送器输出电流之间关系为

$$F_f = B\pi D_s N I_{sc} = k_f I_{sc} \quad (2-15)$$

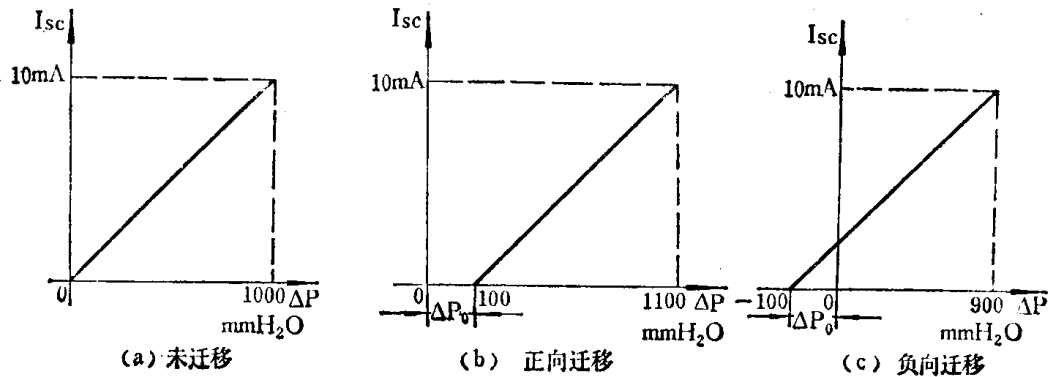


图 2-11 加零点迁移前后的静态特性

令

$$k_f = B\pi D_s N$$

式 (2-15) 中 B ——永久磁钢的磁感应强度;
 D_s ——反馈动圈的平均直径;
 π ——常数 (3.1416);
 N ——反馈动圈的匝数;
 k_f ——转换系数。

磁分路螺钉 2 起调节气隙磁场强度的作用, 以改变电磁反馈力 F_f , 从而达到差压变送器的量程细调的目的。

在使用过程中, 永久磁钢应避免敲击和随意拆卸, 否则会使磁感应强度 B 值降低, 引起仪表的灵敏度下降。

(四) 高频位移检测放大器

高频位移检测放大器是一个转换器, 它的作用是将与差压 ΔP 成比例变化的杠杆系统的位移 ($0.01 \sim 0.1 \text{ mm}$) 转换成 $0 \sim 10 \text{ mA}$ 的直流电流输出。对高频位移放大器的要求是:

(1) 灵敏度高, 即有很小的位移 (几十微米) 就能输出 10 mA 的电流。这就要求放大器有较高的灵敏度。而且要求灵敏度可调。

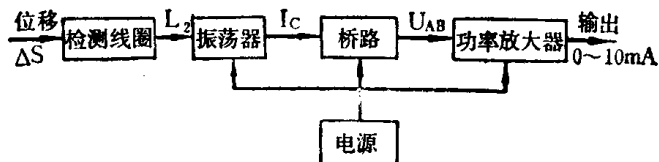


图 2-13 高频位移检测放大器方块图

它由铝检测片、检测线圈、高频双调谐振荡器、输出桥路、直流功率放大器及电源等组成。

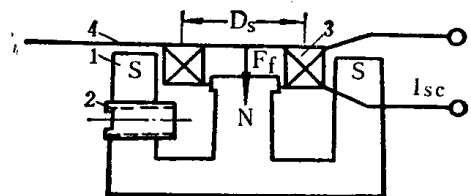


图 2-12 电磁反馈机构

1—永久磁铁; 2—磁分路螺钉; 3—反馈动圈; 4—磁钢罩

(2) 线性度较好。

(3) 带负载能力较强。

(4) 交流分量小。

(5) 温度误差小。

图2-13是高频位移检测放大器的方块图。

DDZ-I型力平衡式变送器中,采用的是一种晶体管高频位移检测放大器,图2-14是高频位移检测放大器的线路图。

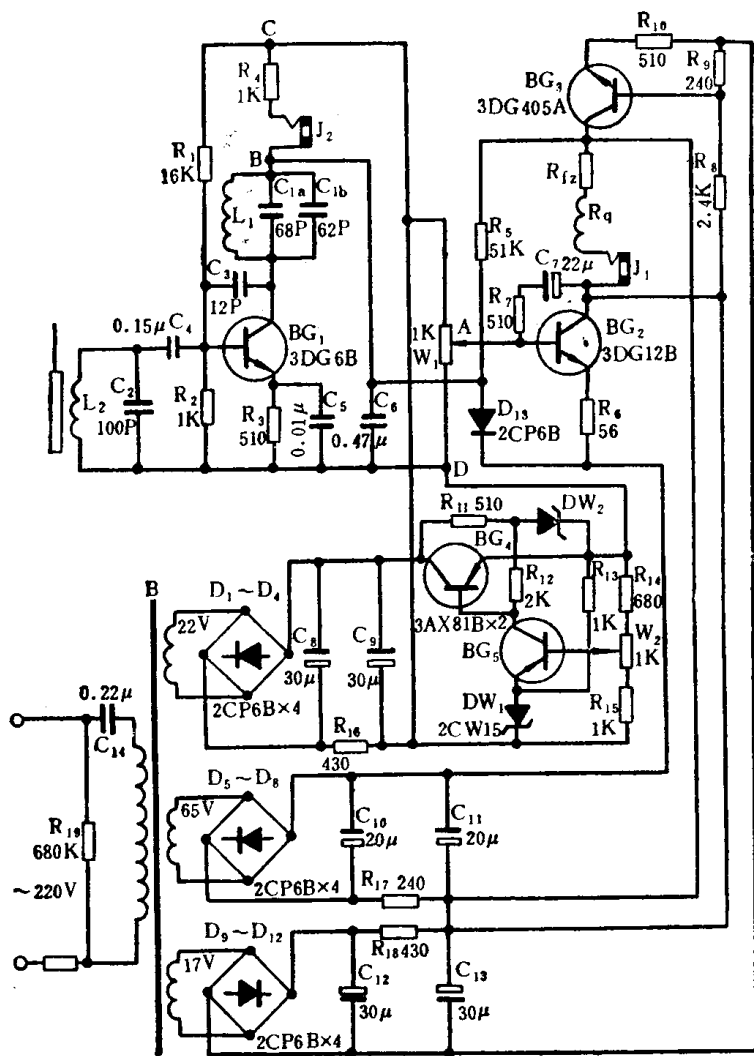


图 2-14 高频位移检测放大器线路图

1. 铝检测片及检测线圈

位移检测器是由铝检测片与检测线圈组成。铝检测片是固定在副杠杆上。检测线圈 L_2 安装在变送器机座上,与铝检测片之间的相对距离 S 可借助调零弹簧进行调整,这样可以进行零位的粗调。 S 初始位置(即输出为零的位置)约1.5mm左右。为什么采用铝材料作检测片呢?其主要原因有:(1)铝材料导电性较好,能产生较强的电磁感应涡流效应,从而有效地改变检测线圈的电感量。(2)铝是非磁性物质,与磁钢及检测线圈之间均没有磁吸引力。(3)铝比较轻,可做得较薄,以减少副杠杆的附加重量。

检测线圈 L_2 是高频振荡器的一部分,是用印刷线路板腐蚀而制成的平面环形线圈,其形状如图2-15所示,约10圈左右,它的电感量很小,在附近没有铝片时约为 $1.8\mu\text{H}$ 。

位移检测器的作用是实现位移 S -电感 L 的转换。其原理图如图2-16所示。平面检测线圈和高频振荡器相连,在线圈 L_2 中有高频电流 i' 通过时,高频电流 i' 产生高频磁通 ϕ' ,这个高频高变磁通 ϕ' 穿过与其靠得很近并与它平行的铝检测片。因此,在铝检测片上将产生高频涡