

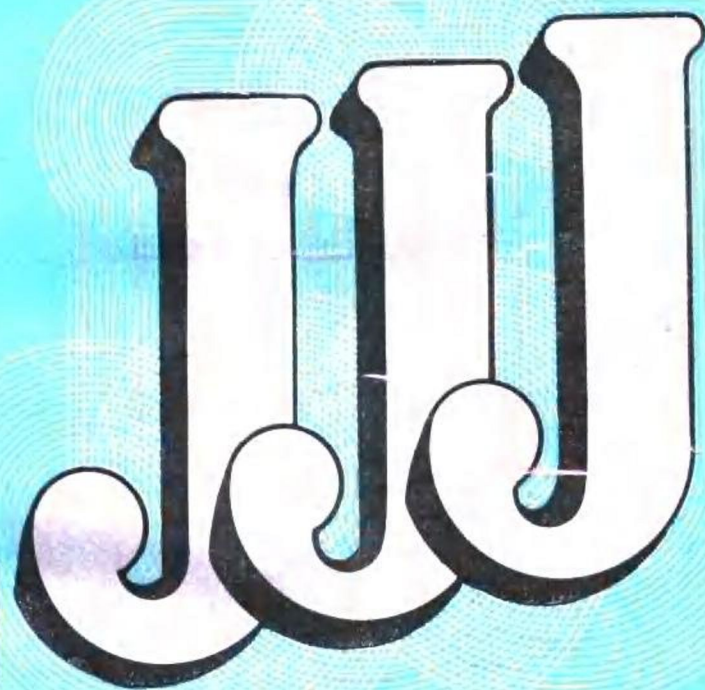
国家机械工业委员会编

热工仪表检修工艺学

(中级工适用)

机械工人技术理论培训教材

JIXIE GONGREN JISHULILUN PEIXUN JIAOCAI



机械工业出版社

本书主要介绍热工仪表的检修工艺。全书共六章。第一章至第五章分别介绍压力及差压变送器、温度变送器、动圈指示仪、电子电位差计与自动平衡电桥、流量计，重点阐述这些仪器仪表的结构、工作原理与检修工艺。在第六章中还介绍了一些热工仪表检修中常用的测试仪器，如低频信号发生器、示波器和自动报警器等，着重介绍它们的结构原理、使用与维修方法。

本书由中捷友谊厂匡红梅、马清、陈静编写，朱有成、郑盘石审稿。

热工仪表检修工艺学

(中级工适用)

国家机械工业委员会统编

*

责任编辑：卢若薇 版式设计：乔玲
封面设计：林胜利 方芬 责任校对：熊天荣
责任印制：郭炜

*

机械工业出版社出版 (北京阜成门外百万庄南里一号)

(北京市书刊出版业营业许可出字第117号)

机械工业出版社印刷厂印刷

机械工业出版社发行·新华书店经销

*

开本 $787 \times 1092^{1/32}$ · 印张 $12^{1/2}$ · 插页 1 · 字数 278 千字

1988年12月北京第一版·1988年12月北京第一次印刷

印数 00,001—20,700 · 定价：4.80元

*

ISBN 7-111-01165-1/TH·191

前 言

1981年,原第一机械工业部为贯彻、落实《中共中央、国务院关于加强职工教育工作的决定》,确定对机械工业系统的技术工人按照初、中、高三个阶段进行技术培训。为此,组织制定了30个通用技术工种的《工人初、中级技术理论教学计划、教学大纲(试行)》,编写了相应的教材,有力地推动了“六五”期间机械行业的工人培训工作,初步改变了十年动乱造成的工人队伍文化技术水平低下的状况,取得了比较显著的成绩。

鉴于原机械工业部1985年对《工人技术等级标准(通用部分)》进行了全面修订,原教学计划、教学大纲已不适应新《标准》的要求,而且缺少高级部分;编写的教材,由于时间仓促、经验不足,在内容上存在着偏深、偏多、偏难等脱离实际的问题。为此,原机械工业部根据新《标准》,重新制定了33个通用技术工种的《机械工人技术理论培训计划、培训大纲》(初、中、高级),于1987年3月由国家机械工业委员会颁发,并根据培训计划、大纲的要求,编写了配套教材148种。

这套新教材的编写,体现了《国家教育委员会关于改革和发展成人教育的决定》中对“技术工人要按岗位要求开展技术等级培训”的有关精神,坚持了文化课为技术基础课服务,技术基础课为专业课服务,专业课为提高操作技能和分析解决生产实际问题的能力服务的原则。在内容上,力求以基本概念和原理为主,突出针对性和实用性,着重讲授基本

知识,注重能力培养,并从当前机械行业工人队伍素质的实际情况出发,努力做到理论联系实际,通俗易懂,具有工人培训教材的特色,同时注意了初、中、高三级之间合理的衔接,便于在职技术工人学习运用。

这套教材是国家机械工业委员会委托上海、江苏、四川、沈阳等地机械工业管理部门和上海材料研究所、湘潭电机厂、长春第一汽车制造厂、济南第二机床厂等单位,组织了200多个企业、院校和科研单位的近千名从事职工教育的同志、工程技术人员、教师、科技工作者及富有生产经验的老工人,在调查研究和认真汲取“六五”期间工人教材建设工作经验教训的基础上编写的。在新教材行将出版之际,谨向为此付出艰辛劳动的全体编、审人员,各地的组织领导者,以及积极支持教材编审出版并予以通力合作的各有关单位和机械工业出版社致以深切的谢意!

编好、出好这套教材不容易;教好、学好这些课程更需要广大职教工作者和技术工人的奋发努力。新教材仍难免存在某些缺点和错误,我们恳切地希望同志们在教和学的过程中发现问题,及时提出批评和指正,以便再版时修订,使其更完善,更好地发挥为振兴机械工业服务的作用。

国家机械工业委员会

技工培训教材编审组

1987年11月

目 录

前言

第一章 压力、差压变送器	1
第一节 压力、差压变送器的用途及分类	1
第二节 电动差压变送器	2
第三节 气动差压变送器	22
复习题	35
第二章 温度变送器	36
第一节 温度变送器的分类及其基本结构	36
第二节 DDZ-Ⅱ型仪表中温度变送器的输入回路	41
第三节 DDZ-Ⅱ型仪表中温度变送器的自激调制式直流 放大器	54
第四节 DDZ-Ⅱ型仪表中温度变送器的负反馈回路	74
第五节 DDZ-Ⅲ型仪表中的温度变送器	83
第六节 温度变送器的校验、调整及一般故障处理	103
复习题	117
第三章 动圈指示仪的检修	119
第一节 动圈仪表的故障分析及处理方法	119
第二节 仪表主要部分的修理和动框平衡	123
第三节 动圈仪表在加工中的关键加工工艺	131
第四节 测量电路的故障与排除	138
第五节 自动调节部分的故障与排除	150
第六节 量程更换及校验	177
复习题	184

VI

第四章 电子电位差计与自动平衡电桥的检修	185
第一节 电子电位差计与自动平衡电桥的工作原理	186
第二节 仪表的故障检查方法	207
第三节 测量桥路的故障与检修	214
第四节 放大器	220
第五节 微电机	248
第六节 电子电位差计的干扰和抗干扰	266
第七节 电子电位差计的安装、使用与维修	273
复习题	278
第五章 流量计	280
第一节 流量孔板的种类和计算	280
第二节 较复杂的故障分析处理	286
第三节 量程更换	323
复习题	325
第六章 常用测试仪器	326
第一节 XD-1型低频信号发生器	326
第二节 标准电池和标准电阻	341
第三节 常用示波器	353
第四节 JT-1型晶体管特性图示仪	368
第五节 自动报警器	381
复习题	393

第一章 压力、差压变送器

第一节 压力、差压变送器的用途及分类

压力、差压变送器主要用于测量液体、气体或蒸气的差压、压力及负压、密度，也可以用来测量开口容器或受压容器的液位，若与节流装置配合可以测量液体、气体或蒸气的流量等工艺参数。

压力变送器和差压变送器测量的参数虽然有差别，但它们的结构原理是基本相同的。考虑到差压变送器在各种变送器中比较典型，所以将对其作较全面的分析介绍。

差压变送器根据输出的信号形式不同，可分为气动差压变送器和电动差压变送器。

电动差压变送器属于电动单元组合仪表，它将被测的参数转换成统一的电信号，然后输送给指示、记录仪表，或送至调节器、计算机，以实现对上述参数的显示、记录或自动控制。

气动差压变送器属于气动单元组合仪表。虽然电动单元组合仪表近年来有了很大的发展，但由于气动单元组合仪表有许多优点，如结构简单、性能可靠、维护方便、抗干扰能力强，能直接驱动气动执行器，工作平稳，经济实用等，所以目前仍普遍使用。

但是，气动仪表与电动仪表相比也有一些局限性，例如：需用一套去除油分、水分、尘埃的压缩空气装置；传送距离

和传送速度受到限制；检测参数种类不够多；与计算机的配用不便等。因此，气动仪表一般用于传送距离在 150 m 的范围内，要求防火防爆，运行要求安全可靠的场合。

气动差压变送器的功能是将被测参数转换成标准的气压信号，然后送入有关单元进行显示或调节。因为各种变送器首先接触被测参数，所以又把变送器称为“一次仪表”，而把各种显示仪表称为“二次仪表”。

第二节 电动差压变送器

电动差压变送器是测量差压的无刻度的仪表。除了可以测量差压以外，具体应用时，还可以测量液位、流量等。电动差压变送器是将被测的参量转换成统一的输出电信号。

目前，电动差压变送器在生产中广泛使用的是 DDZ-Ⅱ型和 DDZ-Ⅲ型。DDZ-Ⅰ与 DDZ-Ⅲ型差压变送器的特性比较见表 1-1。

表1-1 DDZ-Ⅰ型与DDZ-Ⅲ型差压变送器特性比较

主要特点 类型	原理	结 构 特 点					信号及连接方式			主要性能	
		矢量机构	杠杆比	膜盒单向保护	量程调整	防爆型式	供电电压	输出信号	连接方式	性能	使用范围
DDZ-Ⅰ	力平衡	有的有 有的无	1:3 1:6 1:10	可靠 性差	麻烦	隔防爆型	220 V AC	0~10 mA DC	四线制	低	-10~ 55℃
DDZ-Ⅲ	力平衡	有	1:10	可靠	方便	隔防爆 型及安 火花型	24 V DC	4~20 mA DC	二线制	高	-40~ +82℃

为了维修方便，下面分别介绍 DDZ-Ⅰ型和 DDZ-Ⅲ型差压变送器的结构、原理、调校等内容。

一、DDZ-Ⅰ型差压变送器

1. DDZ-Ⅰ型差压变送器的工作原理 DDZ-Ⅰ型差压变送器是按力平衡原理工作的，所以有时也把它们称为“力平衡式变送器”。差压变送器的品种规格虽然很多，但它们的工作原理和结构基本相同，下面仅以一种产品为例进行介绍。

该产品的工作原理如图 1-1 所示。

测量元件 1 把所测差压 Δp_i ，转换成相应的测量力 F_d ，作用在主杠杆 2 的 A 点上，使它偏转；主杠杆又通过传力弹簧片 3 带动副杠杆 4 偏转，从而改变了检测铝片 5 与平面线圈 6 之间的相对距离。检测铝片的位移，经位移检测放大器 7 转换成

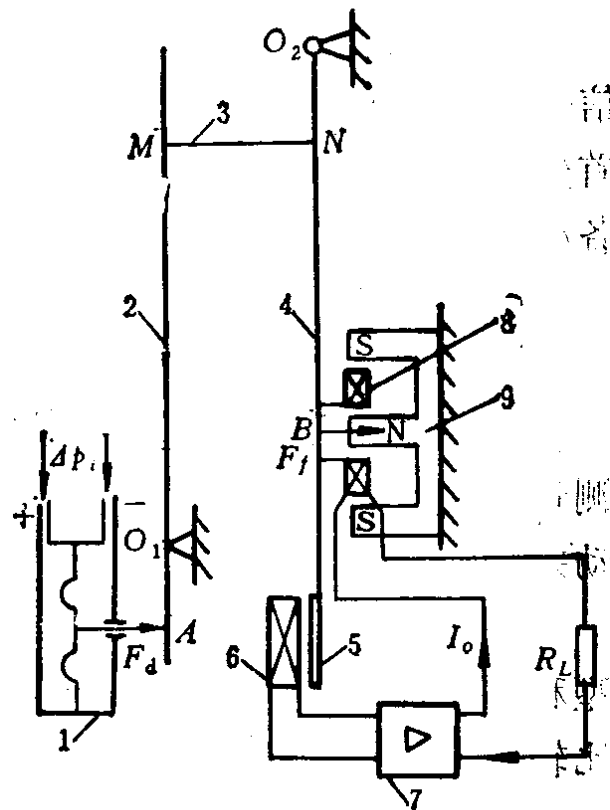


图1-1 差压变送器的工作原理

1—测量元件 2—主杠杆 3—传力弹簧片 4—副杠杆 5—检测铝片 6—平面线圈 7—位移检测放大器 8—反馈动圈 9—永久磁钢

直流电流输出。该电流通过负载电阻 R_L 和反馈动圈 8。由于反馈动圈是固定在副杠杆上，并处于一个永久磁钢 9 的磁场中，因此在放大器输出电流的作用下，反馈动圈就对副杠杆产生一个电磁反馈力 F_f 。当测量力 F_d 与反馈力 F_f 对杠杆系统所形成的力矩达到平衡时，杠杆系统就停止偏转。这时，通过位移检测放大器输出一个稳定的电流值，即反映所测差压的大小。整个力平衡测量系统，实质上是一个有差调

节系统。在该变送器中，由于位移检测放大器的灵敏度很高，所以在测量过程中，弹性测量元件的位移变化量极小。

图 2. DDZ-Ⅰ型差压变送器的结构 目前，各有关仪表厂生产的 DDZ-Ⅰ型差压变送器，在结构和线路上虽然还没有统一，但它们的组成原理基本相同，其组成方框图如图1-2所示。下面分别说明各组成部分。

图

送

图

式

图

式

图

式

图

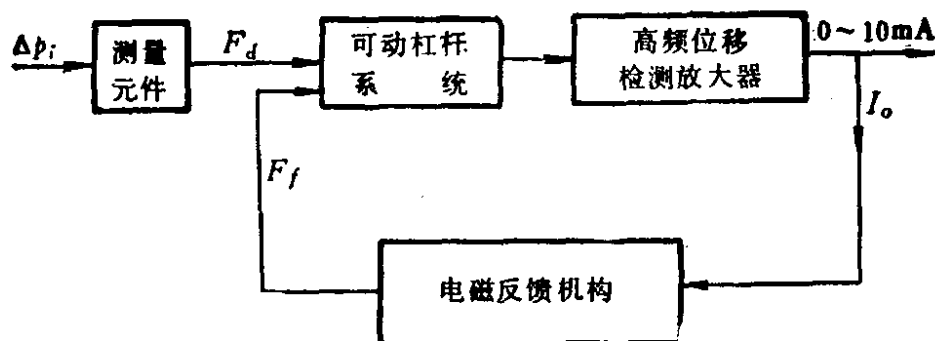


图1-2 差压变送器的组成方框图

(1) 测量元件 测量元件的作用是把被测介质的压力或差压信号，转换成相应的测量力 F_d 输出。在差压变送器中，通常采用的测量元件有以下三种：

1) 膜盒 膜盒是由两块金属膜片和一个底座组成。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，所以采用双膜片结构。这样，在温度变化时，它们二者所产生的误差，可以互相补偿。

在膜盒内充有硅油，用它来传递压力，另外，当膜盒硬芯上的齿环会卡在用聚四氟乙烯塑料制成的密封垫圈上，从而阻断了硅油从受压侧流向另一侧的通路，这样就可使膜片免遭损坏。不过目前由于加工和装配方面的原因，这种结构仍不能完全解决膜盒单向过载时的保护问题。因此，仪表在

使用过程中还应力求避免单向过载。

2) 波纹管 金属波纹管一般用来测量较低的压力, 能把所测压力转换成相应的测量力或位移。波纹管通常用黄铜、磷青铜或不锈钢制成, 可根据所测介质的物理、化学性能进行选用。

3) 弹簧管 弹簧管的灵敏度较低, 通常用它来测量较大的压力。弹簧管的截面呈椭圆形。当向弹簧管输入一定的压力时, 它的自由端就产生相应的角位移和法向力。对于差压变送器中用的弹簧管, 主要希望自由端产生的法向力能与所测压力成线性关系, 以保证仪表有较好的线性度。弹簧管通常用铬钒合金制成。

(2) 可动杠杆系统 可动杠杆系统是差压变送器中的机械传动部分。它在仪表中的作用是把测量力 F_d 与反馈力 F_f 进行比较, 然后转换成检测铝片的位移。可动杠杆系统的结构对整个仪表的静、动态特性有很大的影响。

在差压变送器中, 为了扩大量程的可调范围, 采用了双杠杆机构。在 A 型结构中, 还采用了十字弹簧支承, 作为副杠杆的转动支点 O_2 。这样, 就可以减小摩擦和间隙等非线性因素对测量精度的影响。

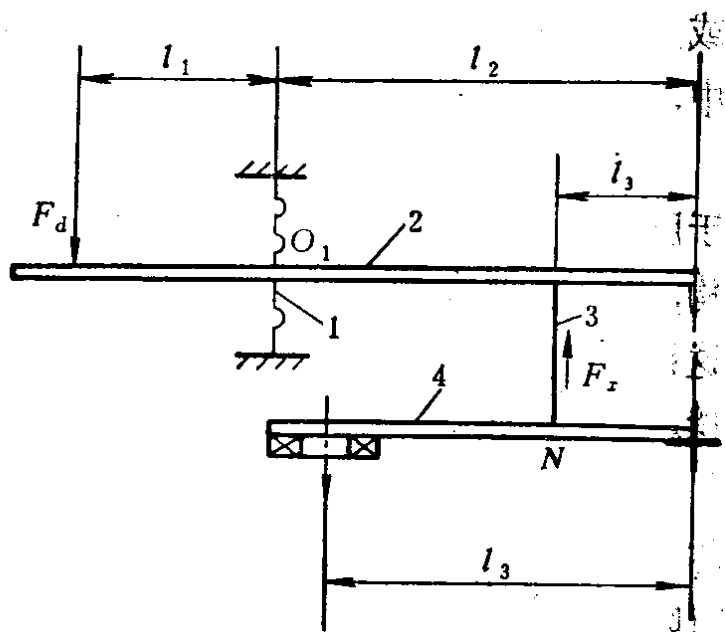


图1-3 A型双杠杆结构示意图

1—支点 2—主杠杆 3—传力簧片 4—副杠杆

目前，在差压变送器产品中，采用的双杠杆结构有两种形式：A型或B型。它们的结构如图 1-3 和图 1-4 所示。

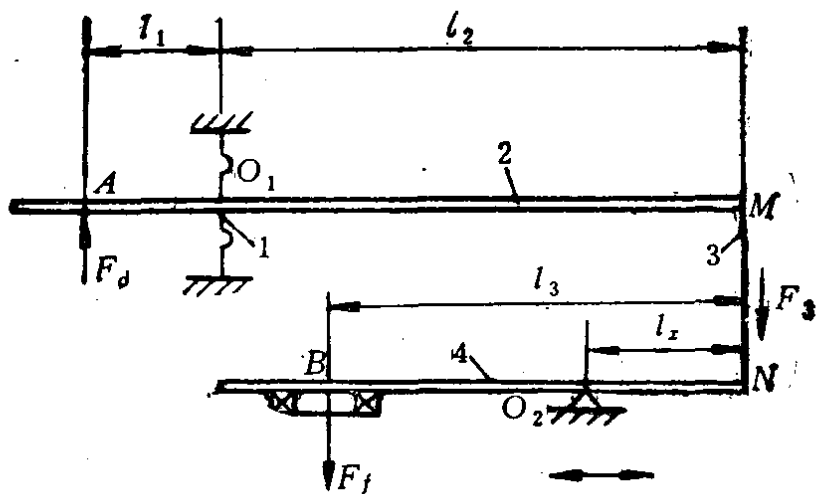


图1-4 B型双杠杆结构示意图

1—支点 2—主杠杆 3—传力簧片 4—副杠杆

从以上两图可以看出：A型和B型双杠杆结构的主要区别，在于量程范围的调节方式不同；前者是靠传力簧片的位置达到要求，而后者则是靠移动副杠杆的传动支点 O_2 进行的。

（3）电磁反馈机构 电磁反馈机构如图 1-5 所示。它主要由反馈动圈和永久磁钢组成。

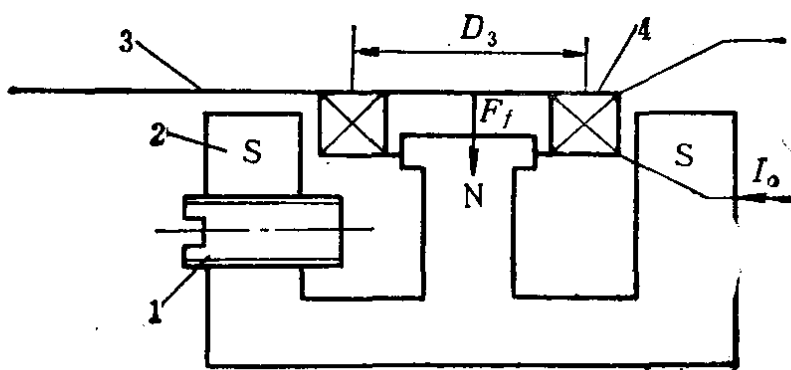


图1-5 电磁反馈机构

1—磁分路螺钉 2—永久磁钢 3—副杠杆 4—反馈动圈

反馈动圈装在副杠杆上，并且处于一个永久磁钢的磁场中。因此，当仪表的输出电流在其中流过时，就会产生一个与测量力 F_d 相平衡的电磁反馈力 F_f 。这个力与仪表输出电流 I_o 之间的关系为：

$$F_f = B\pi D_n I_o = K_f I_o \quad (1-1)$$

式中 B ——永久磁钢的磁感应强度；

D_n ——反馈动圈的平均直径；

π ——常数，等于3.1416；

n ——反馈动圈匝数；

K_f ——电磁反馈机构的转换系数。

目前，国产的差压变送器，大都按 I_o 为 10mA 时， F_f 为 1960 N 的要求来设计电磁反馈机构。

在永久磁钢上，还装有一个磁分路调整螺钉，它可用于仪表测量范围的细调。

仪表在使用过程中，永久磁钢应避免敲击和随意拆卸，否则会使永久磁钢的 B 值降低。

(4) 高频位移检测放大器 高频位移检测放大器是一个转换放大机构，

它的作用是将杠杆系统的位移转换成相应的直流电流输出。

在 DDZ-Ⅰ型力平衡式变送器中，采用的是一种

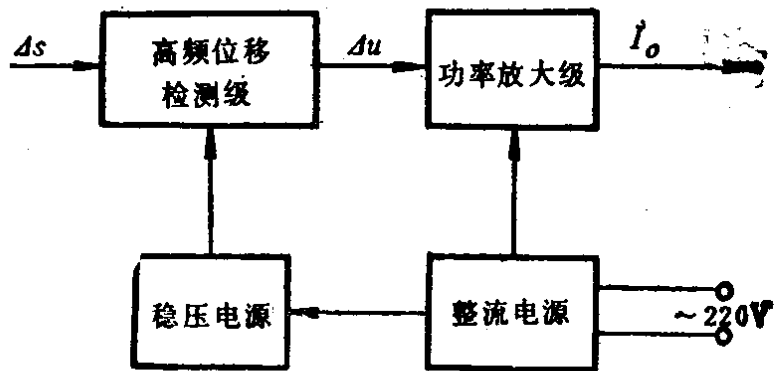


图1-6 高频位移检测放大器的方框图

晶体管高频位移检测放大器，它的组成如图 1-6 所示。

高频位移检测级是将检测铝片的位移转换成电压信号，

然后作为功率放大级的输入；功率放大级的作用是将高频位移检测级的输出电压进行功率放大，以便向仪表负载和反馈动圈提供0~10mA的直流输出。

3. 常用差压变送器的调校方法（以 DBY为例）

（1）校验接线 差压变送器的校验接线如图1-7所示。

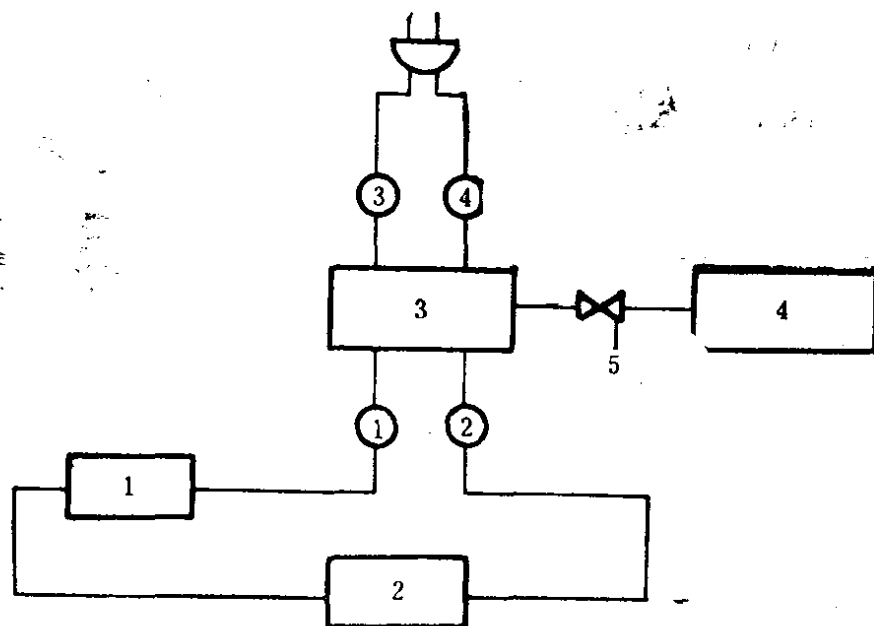


图1-7 差压变送器校验接线图

1—1.5kΩ电阻箱 2—0~10mA直流电流表 3—DBY型差压变送器 4—压力发讯器 5—阀

（2）一般检查

1）固定差压变送器，然后检查机械部分各紧固件是否有转动。量程调节装置是否在所测量的位置内，放大器的量程调节是否测量的位置内。

2）用手按动副杠杆，检查动圈在磁钢中活动情况，是否能自由活动？有没有卡住的感觉，通过调整磁钢的上下左右位置，使动圈在磁钢中自由活动。

3）检查主杠杆与副杠杆连接处十字簧片是否垂直。

4) 检查主杠杆、副杠杆与机架是否相互平行, 然后调整迁移弹簧, 调零弹簧, 使量程调节装置的顶尖自然贴紧副杠杆。

5) 用手轻轻按主杠杆, 观察检测铝片是否随动。

6) 用手按副杠杆使动圈紧贴磁钢, 观察检测铝片从起始点移动距离是否大于 3 mm。

7) 检查检测铝片在自由状态下与检测平面线圈的距离是否为 1.5~2mm, 否则调整弹簧装置, 使检测线圈向内或向外移动。

8) 将仪表接通电源。

9) 用手轻按主杠杆上端, 使杠杆有一个偏转, 动圈受吸力 (否则对换动圈引出线的焊头), 这时输出电流应有明显的上升趋势, 松开后输出电流复零。

10) 接通电源后, 输出电流不为零, 可用调零装置使输出电流为零 (即调整检测铝片与平面检测线圈之间的距离), 以后仪表调零位均用调零弹簧。

(3) 基本精度检查

1) 仪表通大气, 用调零弹簧使仪表输出电流为零。需注意此时限位装置与副杠杆不能接触。

2) 打开阀门, 用压力发讯器输入压力到满量程的 $\frac{3}{4}$ 以上。然后除去压力, 观察仪表输出是否回零, 如此反复数次, 重复调整零位, 直到仪表输出稳定。

3) 缓慢输入差压信号到满量程, 若仪表输出电流在 $10 \pm 1.5\text{mA}$ 以上, 检查放大器量程调节短接片是否接对。若输出电流在 $10 \pm 1.5\text{mA}$, 即可通过量程调节装置的偏心件进行细调。如果输出电流是 $10 \pm 0.2\text{mA}$, 即可通过磁分路螺钉进

行微调。螺钉向里是增加输出电流，螺钉向外是减小输出电流。必须注意，凡是用支点来调整满度输出电流的，必须重新调整零点。即除去差压信号调整后，观察满度，反复几次直到零点和满度均准确。

4) 将输入信号(差压)分成20%、40%、60%、80%、100%，测试仪表输出电流值应分别为2mA、4mA、6mA、8mA、10mA，其误差应满足精度等级。

5) 加差压到满量程的125%，调整限位装置，此时电流没有下降现象。

(4) 改变测量范围的调整 应用放大器上的量程调节、量程调整装置的偏心件及磁钢的磁分路即可调到你所需要的测量范围。

4. DDZ-II型差压变送器的故障分析 差压变送器的整机常见故障及检修要点见表1-2。

表1-2 差压变送器常见故障及检修要点

常 见 故 障	检 修 要 点
线性不好	①检查限位装置是否碰到了副杠杆 ②检查敏感元件是否有损伤 ③簧片是否扭曲、变形 ④动圈在磁钢中活动受阻 ⑤负载电阻是否大于1.5kΩ ⑥振荡级灵敏度太低
变差超差	①磁钢中有铁屑、杂物 ②支点与副杠杆脱开 ③机械部分螺钉松动 ④弹性敏感元件线性、回差不好 ④主杠杆的支点(膜片)破裂
无输出电流	①电源是否接好

(续)

常 见 故 障	检 修 要 点
无输出电流	②反馈动圈开路 ③放大器有故障 ④敏感元件与主杠杆连接不紧
输出电流大于10mA	①检测线圈 L_1 、 L_2 有短路或开路现象 ②放大器出现故障
输出电流小于10mA	①限位装置碰副杠杆 ②副杠杆与支点脱开 ③负向电阻超过 $1.5k\Omega$ ④功率管放大倍数不够 ⑤放大器有故障 ⑥电源电压太低
输出电流振荡不稳定	①放大器校正环节开路 ②放大器有元件虚焊 ③放大器中的输出电容开路 ④敏感元件无位移或损坏 ⑤磁钢中有铁屑或污物 ⑥转换机构中螺钉松动 ⑦敏感元件与主杠杆连接处松动 ⑧敏感元件泄漏

二、DDZ-Ⅲ型压力、差压变送器

1. 差压变送器的工作原理 差压变送器的原理结构如图1-8所示。差压变送器由两部分组成,下半部为测量部分,上半部为转换部分。前者包括测量室、测量元件(膜盒)、测量杠杆;后者包括主杠杆、矢量机构、副杠杆、反馈机构、差动变压器、调零装置及放大器。

差压变送器是根据力平衡原理工作的,这种结构是一个具有深度负反馈的有差系统。当被测的差压信号分别作用在