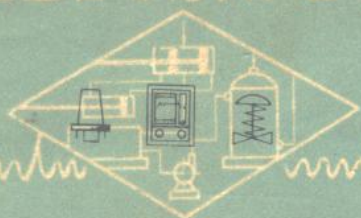


工业自动化仪表丛书

9



# 动圈指示调节 仪表

詹纪鸿 编

机械工业出版社

工业自动化仪表丛书

---

**动圈指示调节仪表**

詹纪鸿 编

本书系《工业自动化仪表丛书》之一，主要介绍动圈指示调节仪表的基本原理、性能和使用维修知识。书中对张丝式动圈测量机构及测量电路作了阐述，比较详细地叙述了以晶体管振荡放大器为基础的电子调节电路的工作原理和调试方法。同时亦扼要介绍了配套使用的可控硅调压器和调功器，以及电动伺服驱动器的电路原理与使用。

本书可供工业自动化仪表工人和技术人员阅读，也可供有关学校师生参考。

## 动圈指示调节仪表

詹纪鸿 编

\*

机械工业出版社出版（北京阜成门外百万庄南街一号）

（北京市书刊出版业营业许可证出字第117号）

沈阳市第二印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

\*

开本787×1092 1/32·印张 6<sup>2</sup>/<sub>16</sub>·字数 135 千字

1975年12月北京第一版·1975年12月沈阳第一次印刷

印数 00,001—28,000·定价0.43元

统一书号：15033·4309

## 前 言

工业自动化仪表是实现工业生产过程自动化的一种重要装置。通过工业自动化仪表来了解生产过程中的物质变化状态,并将生产过程控制在预定的条件之下,确保着生产的优质、高效和安全。

随着我国社会主义工业的飞速发展,工业自动化仪表已日益广泛地应用于冶金、电力、化工、石油、轻纺、机械等工业部门,其发展前途是十分广阔的。

在党的“鼓足干劲,力争上游,多快好省地建设社会主义”总路线的鼓舞下,特别是经过无产阶级文化大革命,我国仪表制造工业正在飞跃发展。

为了适应工业自动化仪表迅速发展的需要,进一步做好技术交流与推广工作,我们组织编写了这套《工业自动化仪表丛书》。

本丛书预定为二十册。各分册书名分别为:《工业自动化仪表》、《温度测量仪表》、《压力测量仪表》、《流量测量仪表》、《物位测量仪表》、《机械量测量仪表》、《核辐射测量仪表》、《自动平衡显示仪表》、《动圈指示调节仪表》、《自动调节仪表》、《电动单元组合仪表》、《气动单元组合仪表》、《射流技术及其应用》、《工业控制计算机》、《电动执行器》、《气动执行器》、《工业程序控制装置》、《工业仪表防护》、《工业仪表应用》和《工业仪表维修》等,将陆续分册出版。

本丛书力求以深入浅出、通俗易懂的文字,辅以图表的

形式，简要介绍各类工业自动化仪表的结构原理、性能特点、安装使用以及维修等知识，供同志们参考。但由于我们政治思想水平不高，业务水平有限，因而书中一定存在不少缺点，甚至错误，欢迎同志们批评指正。

本丛书在编写过程中，曾得到有关工厂、大专院校、科研单位的大力支持，在此谨致谢意。

《工业自动化仪表丛书》编写组

## 毛主席语录

自力更生为主，争取外援为辅，破除迷信，独立自主地干工业、干农业，干技术革命和文化革命，打倒奴隶思想，埋葬教条主义，认真学习外国的好经验，也一定研究外国的坏经验——引以为戒，这就是我们的路线。

# 目 录

## 前言

|                             |    |
|-----------------------------|----|
| 第一章 绪论 .....                | 1  |
| 一、我国动圈指示调节仪表发展概况 .....      | 1  |
| 二、动圈指示调节仪表的使用范围及其特点 .....   | 2  |
| 三、动圈指示调节仪表的分类 .....         | 4  |
| 第二章 动圈指示调节仪表的结构和工作原理 .....  | 6  |
| 一、动圈测量机构 .....              | 7  |
| (一) 工作原理与张丝支承结构 .....       | 7  |
| (二) 磁路系统 .....              | 15 |
| (三) 动圈阻值的温度影响及其补偿方法 .....   | 16 |
| (四) 动圈回路的量程电阻 .....         | 19 |
| 二、测量电路 .....                | 21 |
| (一) 配接热电偶的测量电路 .....        | 21 |
| (二) 热电偶断线自动保护电路 .....       | 27 |
| (三) 配接热电阻的测量电路 .....        | 30 |
| 三、电子调节电路 .....              | 34 |
| (一) 继电器输出的位式调节电路 .....      | 35 |
| (二) 继电器输出的时间比例调节电路 .....    | 51 |
| (三) 电流输出的PID调节电路 .....      | 68 |
| 第三章 动圈指示调节仪表的调试、维修与使用 ..... | 86 |
| 一、仪表调试方法 .....              | 86 |
| (一) 整机调试要点 .....            | 87 |
| (二) 电路板调试方法 .....           | 91 |
| 二、仪表常见故障的原因及其检查 .....       | 96 |
| (一) 测量指示部分 .....            | 96 |

|                                    |     |
|------------------------------------|-----|
| (二) 调节电路部分 .....                   | 99  |
| 三、仪表使用时的注意要点 .....                 | 107 |
| (一) 测量部分的使用要求 .....                | 107 |
| (二) 调节部分的交流干扰问题 .....              | 110 |
| (三) 位式调节效果的改善 .....                | 111 |
| 第四章 配套仪表的电路原理与使用 .....             | 123 |
| 一、移相触发式可控硅调压器 .....                | 123 |
| (一) 可控硅调压器的组成及其<br>在调节系统中的作用 ..... | 123 |
| (二) 移相触发电路的原理 .....                | 125 |
| (三) 调压器的调节特性 .....                 | 130 |
| (四) 移相触发可控硅调压器的使用特点 .....          | 133 |
| 二、过零触发可控硅调功器 .....                 | 133 |
| (一) 电压过零触发的方式 .....                | 134 |
| (二) 可控硅调功器的组成和工作原理 .....           | 135 |
| (三) 可控硅调功器的使用特点 .....              | 138 |
| 三、电动伺服驱动器 .....                    | 141 |
| (一) 伺服驱动器的组成和工作原理 .....            | 142 |
| (二) 场效应管调制型直流放大器 .....             | 143 |
| (三) 相敏继电器 .....                    | 148 |
| (四) 使用要求 .....                     | 149 |
| 附录                                 |     |
| 一、关于振荡器的分析 .....                   | 151 |
| 二、电流输出 PID 调节电路的动态特性分析 .....       | 163 |
| 三、热电阻测量桥路参数表 .....                 | 181 |
| 四、动圈指示调节仪表测量范围表 .....              | 185 |
| 五、温度与绝对毫伏数据对照表 .....               | 186 |
| 六、温度与热电阻阻值数据对照表 .....              | 187 |
| 七、动圈指示调节仪表型号命名法 .....              | 188 |



# 第一章 绪 论

## 一、我国动圈指示调节仪表发展概况

动圈指示调节仪表在工业自动化仪表领域中是属于发展较早的一种仪表。过去称为热电高温计、指温控制器和测温毫伏计等都是属于此类仪表。动圈指示调节仪表现在常称为动圈显示仪表，或简称为动圈仪表。

这种仪表在初期阶段是将热电偶受温度变化而发出的热电势变为指针的移动，而便于人们测量和监视被测温度。随着工业生产发展的需要，并由于电子技术的进步，利用了电子调节电路而使动圈仪表具有自动控制温度的功能。同时，人们为了要求记载当时的温度变化，以便于事后考查，利用了落弓打点的机械结构，出现了能自动记录的动圈仪表。这个时期可算为它发展的第二阶段。由于近代科学技术的发展，不断地采用新材料、新工艺、新元件和新技术，使动圈指示调节仪表无论在结构设计、制造工艺和技术性能方面，或是品种类型方面都有了新的发展和提高。尤其是现代磁性材料和半导体技术的应用，使这种仪表正向着高性能、小型化方向发展。

解放前，我国仪表制造工业几乎是空白。解放后，在党和毛主席的英明领导下，仪表制造工业得到了迅速发展。特别是在文化大革命期间，仪表工业战线上广大工人和技术人员狠批了洋奴哲学、爬行主义，批判了片面追求“大、洋、全”而忽视中、小企业自动化水平提高的修正主义路线，在

**“独立自主、自力更生”**的方针指引下，组织起来进行了动圈指示调节仪表的统一设计工作，使仪表制造中贯彻三化（通用化、系列化和标准化）工作取得了显著的效果。在测量机构中的导磁体，已逐步采用粉末冶金工艺。仪表内零部件的通用程度有了很大的提高。新设计的动圈指示调节仪表比原有的同类产品体积缩小50%以上。各种零部件的制造技术上亦比原有产品要简便。在性能指标上亦较原有产品为高，如测量指示精度原为1.5级，新设计的XC系列为1.0级。产品的基型品种亦由原来三种发展为八种。

近年来随着我国社会主义革命和建设的发展，生产厂的数目也有很大增长，产量和质量都有所提高，各厂品种亦有相应发展。

但是，应该指出，我国自动化仪表制造业还是一门新兴的工业，特别是动圈指示调节仪表，在技术水平、工艺水平、产品的品种和质量方面还不能完全适应我国社会主义建设的需要。

**“人民群众有无限的创造力”**。仪表制造工业发展的实践证明：广大工人和技术人员在技术革命和技术革新中根据实际需要，凭着丰富的实践经验，改进了工艺技术，推进了仪表制造业的迅速发展。同时也根据**“洋为中用”**的原则，批判地吸收了国外的先进技术。我们相信，动圈指示调节仪表也和其他仪表一样，今后在社会主义革命和建设中，一定会起到更大的作用。

## **二、动圈指示调节仪表的使用范围及其特点**

动圈指示调节仪表在工业上使用范围很广，它是工业生产过程中实现有关非电量参数远距离测量和控制的重要手

段。由于它具有调节的功能，因此，也是实现自动调节的有力工具。对于提高国民经济各个生产部门的单机自动化程度，提高劳动生产率，改善工作条件和提高产品质量，有着明显的效果。

目前，动圈指示调节仪表已广泛地应用于冶金、电力、机械制造、石油、化工、电子工业、化学纤维、塑料、食品等工业部门，在国民经济中占有一定的地位。

动圈指示调节仪表得到如此广泛的应用，主要是由于它具有以下特点：

(1) 由于采用了磁电式动圈测量机构，易于将微小的直流信号变换成较大的测量指针的角位移，并且这种测量变换不受外界电磁场的影响，噪声影响也很小。

(2) 结构比较简单，价格低廉，易于维护。

(3) 这类仪表是一种比较完美的指示器，能同时在一个刻度上看出被测参数与给定值偏差的大小和偏差的方向，从而知道被测值变化的动向。

(4) 在同一测量机构上，配以不同的测量电路就可配接不同的测量元件，实现不同参数的测量。

(5) 在同一测量机构上，配置不同的调节电路或控制机构就可构成不同的调节动作。例如有用继电器接点动作作为仪表的输出信号；有用直流电流作为仪表的输出信号。这样就便于配接不同的执行器（如交流接触器，电磁阀，可控硅电压调整器和电动调节机构，以及经电—气转换器控制气动调节阀等）以实现自动调节作用。

这种仪表在使用上也有其局限性，如与电子电位差计相比，它怕震动；同时，由于动圈测量指针在测量过程中要稳定下来，需要一定的时间，所以对要求快速调节的工业对

象，调节品质不能达到满意的目的。另外由于在仪表内比例积分微分调节参数是固定的，使其应用范围也受到一些限制。

### 三、动圈指示调节仪表的分类

动圈指示调节仪表按其工业自动化中的功能可分为指示型、指示调节型和记录型三种。目前，我国的XC系列仪发展前二种。外形如图1-1所示。

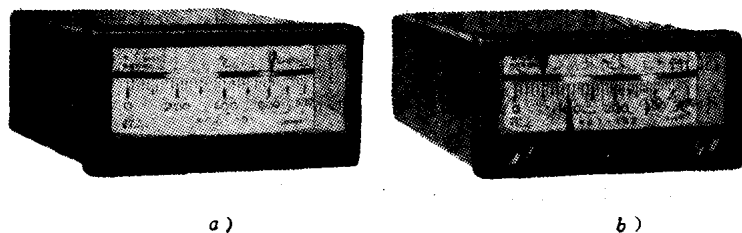


图1-1 动圈显示仪表  
a—指示型； b—指示调节型

按照仪表动圈支承的方式，可分为轴尖轴承式和张丝支承式两种。按磁铁结构又可分为外磁式和内磁式两种。

指示型仪表目前发展有两种基型，即热电偶（直流毫伏输入）式和热电阻式。

指示型仪表常与热电偶、热电阻和辐射感温器配合，用来指示温度。若与霍尔效应式压力变送器或滑线电阻式远传压力计配合，可用来指示压力。若与电感式膜片差压计配合，可用来指示差压。

指示调节型仪表绝大多数是与热电偶、热电阻和辐射感温器配合，用来指示和自动调节温度。在某些场合，也用来

作有关参数的越限报警器。

指示调节型仪表按其调节动作的方式分为以下几种：即继电器输出的二位和三位调节；时间比例调节；电流输出的比例积分微调节；带时间程序控制的二位调节；带时间程序控制的电流比例积分微分调节。此外还包括配合电流输出信号用的配套仪表。

带时间程序控制的指示调节仪表，其程序控制机构主要是一只由微型同步电动机驱动的滚筒，滚筒上有按时间程序曲线铣刻的端面，通过机械传动而控制仪表给定值的变动。其调节电路与不带程序控制的仪表相同，此种程序机构本书未作专门介绍。

电动圈指示调节仪表型号命名方法见附录七。

## 第二章 动圈指示调节仪表的 结构和工作原理

动圈指示调节仪表一般由三部分组成：动圈测量机构、测量电路和电子调节电路。它的基本结构如图 2-1 所示。被测量的参数（如温度、压力等）经过测量元件转换成电势或电阻信号，再经过测量电路转换成通过动圈中的电流（微安），由于动圈由张丝 4 支承在磁路系统的磁场内，动圈中通过电流，就在磁场中偏转。偏转的角度可以反映被测参数的大小，固定在动圈上的测量指针 1 就在刻度板 8 上把这个参数大小指示出来。

具有调节作用的动圈仪表，其基本原理是在刻度板的下边有一个可以左右移动的给定针 7（指示出所要求的给定值），给定针支板 6 上固定着一对检测线圈 3，这样当给定针移动时，使检测线圈也同时移动。而在测量指针上固定一铝旗 2。当被测参数低于给定值较多时，铝旗在检测线圈之外，由检测线圈所控制的振荡放大器 9 中的晶体管振荡器，处于振荡状态，通过检波和功率放大后，使继电器吸合；或者使起调节作用的输出电流为最大值（10毫安）。当被测参数高于给定值较多时，铝旗完全进入了检测线圈，这样由于铝旗隔断了检测线圈两半之间的磁耦合，就减小了检测线圈的电感量，使振荡器停止振荡，并促使继电器放开；或者使起调节作用的输出电流降到最小值（0毫安）。由于在振荡放大器基础上，附加了各种型式的反馈电路，可以得到不同

的调节动作，如位式、时间比例、电流 PID●等，将在后面逐步阐明。

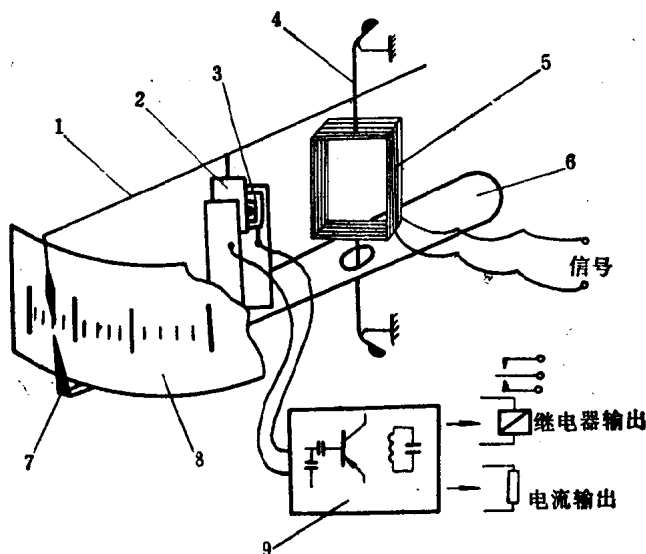


图 2-1 动圈指示调节仪表的基本结构

- 1—测量指针；2—铝旗；3—检测线圈；4—张丝；5—动圈；  
6—给定针支板；7—给定针；8—刻度板；9—振荡放大器

## 一、动圈测量机构

### （一）工作原理与张丝支承结构

动圈测量机构的工作原理如图 2-2 所示。图中表示在磁场内有一个动圈。磁场由永久磁铁形成，动圈是用相互绝缘细铜线绕成的矩形框。当有电流  $I$  流经动圈时，产生了电磁力与永久磁场的相互作用，就会有力  $F$  作用在动圈上，此

●是指比例(P)积分(I)微分(D)三作用调节方式。

力的方向与电流方向有关，并可按照左手定则来确定。因为动圈左面长度  $l$  边上和右面的长度  $l$  边上电流的方向不同，所以力  $F$  的方向也相反，力的大小相等。结果使动圈受到一个力矩的作用，迫使动圈在磁场中绕其纵轴旋转。

在动圈有效边上形成的力  $F$ ，可按式计算：

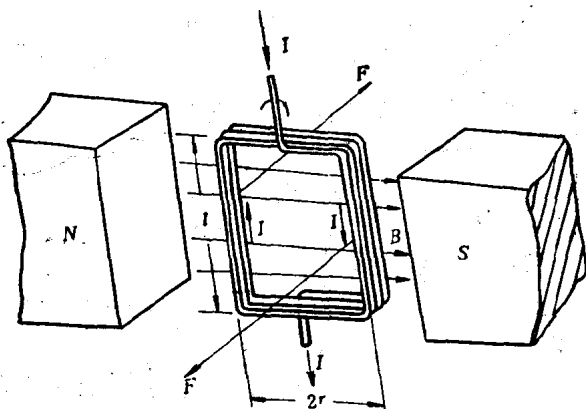


图 2-2 动圈测量机构工作原理

$$F = \frac{n l B I \sin \alpha}{9810} \quad (g) \quad (1)$$

式中  $n$  ——动圈的圈数；  
 $l$  ——动圈有效边的长度(cm)；  
 $B$  ——永久磁铁磁感应强度(G)；  
 $I$  ——流过动圈的电流(A)；  
 $\alpha$  ——有效边与永久磁铁磁力线的夹角。

实际上在这类仪表中， $\alpha$ 一般都等于  $90^\circ$ ，则  $\sin 90^\circ = 1$ ，

因有：
$$F = \frac{n l B I}{9810} \quad (g) \quad (2)$$



因为使动圈旋转的力矩 $M$ 为（参看图 2-3 a）：

$$M = 2\gamma F \cos \beta (g \cdot \text{cm}) \quad (3)$$

所以把（2）式代入（3）式，得：

$$M = \frac{2\gamma n l B}{9810} I \cos \beta = C_1 I \cos \beta (g \cdot \text{cm}) \quad (4)$$

式中  $2\gamma$ ——动圈的宽度（cm），

$\beta$ ——永久磁铁磁力线与动圈平面的夹角，

$C_1 = \frac{2\gamma n l B}{9810}$  是一个常数，与动圈和磁铁有关。

由（4）式可以看出，动圈的转动力矩 $M$ ，不仅与电流 $I$ 有关，而且还与夹角 $\beta$ 的大小有关（参见图 2-3 a）。由于夹角 $\beta$ 的变化，会使仪表刻度不均匀。因此，必须设法消除 $\beta$ 的影响以保证仪表刻度均匀。为此，在设计上必须将永久磁铁的极靴做成如图 2-3 b 所示的同心径向形状，以使永久磁铁磁力线与动圈平面的夹角 $\beta$ 在转动范围内等于 $0^\circ$ ，因而  $\cos 0^\circ = 1$ ，这样（4）式就可写成：

$$M = \frac{2\gamma n l B I}{9810} = C_1 I (g \cdot \text{cm}) \quad (5)$$

由上式可知，动圈转动力矩与流过动圈的电流成正比关系。为了使动圈偏转的每一位置（偏转角度）对应一定的电流大小，就必须在动圈上给以一个大小与其偏转角度成正比的反作用力矩，以此与动圈转动力矩相平衡。如果仅有转动力矩作用于动圈上，则不管被测的量为多少，动圈都会偏转到极限位置，直到不能转动为止，因而无法指示出被测量的大小。正如“秤杆”需要“秤砣”以平衡重物之后才能称东西的道理一样，所以在动圈上必须给以一个反作用力矩。反作用力矩产生的办法通常是随着动圈固定方法的不同而异。