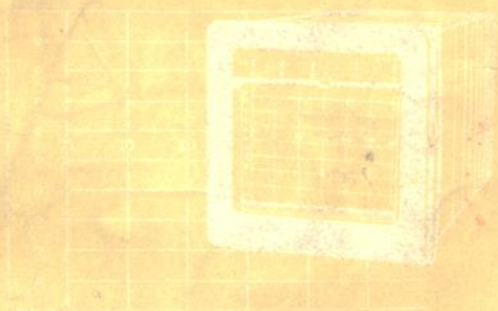


机械工业知识丛书

工业自动化仪表

重庆工业自动化仪表研究所编



机械工业出版社

73.86

209

0.0

机械工业知识丛书

工业自动化仪表

重庆工业自动化仪表研究所编

3105/1

机械工业出版社

工业自动化仪表
重庆工业自动化仪表研究所编
(只限国内发行)

*

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)

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 $850 \times 1168 \frac{1}{32}$ · 印张 $5^2/16$ · 字数 130 千字
1975 年 12 月北京第一版 · 1975 年 12 月北京第一次印刷
印数 00,001—20,000 · 定价 0.44 元

*

统一书号: 15033 · (内)668

出版说明

在毛主席的无产阶级革命路线指引下，我国机械工业欣欣向荣，蓬勃发展，形势很好。

“中国靠我们来建设，我们必须努力学习。”为了适应机械工业发展的需要，我们请有关单位编写了一套《机械工业知识丛书》，供机械行业的领导干部、管理人员和有关同志参考。

《工业自动化仪表》为本丛书之一。书中简要地介绍了工业自动化仪表的发展和应用。分章说明检测仪表、显示仪表、调节器、单元组合仪表和执行器的应用和简单的结构原理。

本丛书在编写过程中，各编写单位给予大力支持，做了大量的工作，我们表示衷心感谢。

由于我们工作水平有限，书中难免有缺点和错误，希望读者批评指正。

目 录

第一章 概述	1
一 工业自动化仪表及其发展概况	1
二 工业自动化仪表的用途	2
三 工业自动化仪表的种类	3
四 工业自动化仪表的基本原理	5
五 工业自动化仪表的主要品质指标	6
六 工业自动化仪表常用的测量元件	6
第二章 检测仪表	11
一 温度测量仪表	11
二 压力测量仪表	23
三 差压测量仪表	28
四 流量测量仪表	36
五 物位测量仪表	47
六 机械量测量仪表	54
七 成分分析器	63
第三章 显示仪表	75
一 磁电式显示仪表	75
二 电子平衡式显示仪表	83
第四章 调节器	89
一 调节器的功能及种类	89
二 调节器的调节规律	90
三 几种调节器的工作原理	94
第五章 单元组合仪表	106
一 气动单元组合仪表	106
二 电动单元组合仪表	121
第六章 执行器	131
一 气动执行器	131

二	电动执行器	138
第七章	工业自动化仪表的应用	143
一	工业自动化的一般概念	143
二	自动调节系统的类型和构成	144
三	自动调节系统的质量指标	146
四	工业自动化仪表在工业生产中的应用	148
五	工业自动化的技术经济效果	157

第一章 概 述

一、工业自动化仪表及其发展概况

工业自动化仪表是工业生产自动化的主要工具之一，它在工业生产中起着监视、控制和调节生产的作用，因此工业自动化仪表被称为工业的眼睛。

工业自动化仪表最早出现在四十年代，当时的仪表体积大，表壳内装有调节机构，只能实现就地检测和就地调节。到四十年代末和五十年代初，出现了气动仪表，并且普遍使用了 $0.2\sim 1.0$ 公斤力/厘米²的统一气压信号。于是，仪表变得小型化，自动化的水平也提高到中央控制室的集中控制。五十年代后半期出现了采用 $4\sim 20$ 毫安等直流信号的电动仪表。五十年代末和六十年代初，电子计算机开始用于化学工业。但是由于当时电子计算机成本太高和数字模型难以建立等等原因，直到六十年代中期它的应用还处于停顿状态。六十年代后半期，出现集成电路后，用计算机作数据处理的各种方法才得到进一步的发展。

在我国，解放前根本谈不上有仪表制造业，仅在沿海的一两个城市有一些简单的仪表的修修配配。

解放后，在中国共产党的毛主席的英明领导下，我国的仪表工业从无到有，并且得到突飞猛进的发展。廿多年来，我国仪表行业的职工队伍不断扩大，工厂和科研单位不断增加，技术水平不断提高。由于我国社会主义制度的优越性，很多种仪表都进行了统一设计，提高了标准化、系列化和通用化的程度，并且不断采用新技术、新材料、新元件和新工艺，初步形成了自己的仪表工业体系，能够满足工业上的一般要求。图1是北京石油化工总厂的中央控制室，全部采用的是国产自动化仪表。

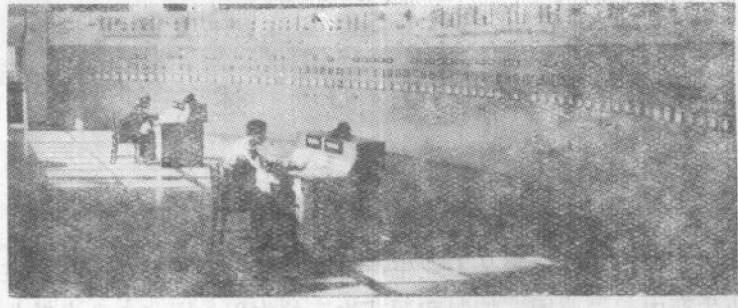


图1 北京石油化工总厂的中央控制室

毛主席教导我们：“在生产斗争和科学实验范围内，人类总是不断发展的，自然界也总是不断发展的，永远不会停止在一个水平上。”

随着我国工农业生产的不断发展，各工业部门对仪表的品种要求越来越多，对仪表的质量要求也越来越高。因此仪表工业的广大职工必须继续努力，不断提高仪表工业的水平，进一步满足各工业部门的要求，为我国的社会主义建设作出更大的贡献。

二、工业自动化仪表的用途

在一些现代化的企业里（如石油化工厂），原料不断地输入，产品不断地运出，虽然在生产车间里很少见到操作人员，但是生产却在连续不断地自动进行着。这种生产过程的自动化是工业发展的方向。所谓生产自动化，实际上就是指在掌握了某些生产过程的客观规律以后，用一些技术工具来代替人们的重复性劳动。

前面讲过，工业自动化仪表[●]是生产自动化的主要工具之一，它可以在工业生产中监视、控制和调节生产。任何一种生产过程总会有一些因素对生产有重要的影响。例如，在热处理过程中，热处理炉的温度、加热速度和加热时间直接影响热处理的质量，只

● 工业自动化仪表以前又叫热工仪表，在国外，有的叫工业仪表，有的叫工业计器。我们常见的锅炉上的压力表就是其中的一种。

要控制好这三个因素，便能基本上保证热处理的质量。又如，在发电厂，锅炉汽包的水位是安全生产的重要因素，必须严格地控制好水位。因此，通过工业自动化仪表对温度、压力、流量、物位、尺寸、重量和成分等参数的测量和调节，就能达到监视、控制或调节生产的目的。

工业自动化仪表适用的范围极广，冶金、机械、电力、石油、化工、轻工和食品等工业部门都能采用。在工业生产中，普遍采用工业自动化仪表，能够提高产品的质量和产量，大大改善劳动条件，减轻劳动强度和保障设备安全。

三、工业自动化仪表的种类

在生产过程中需要测量和控制的参数是多种多样的，目前工业自动化仪表涉及到的参数有以下几类：

- 1) 热工量^①中的温度、压力、流量和物位等。
- 2) 机械量中的重量、尺寸、力和速度。
- 3) 电工量中的相位和频率。
- 4) 分量中的酸度、导电率、浓度、密度、粘度和湿度等。

工业自动化仪表按其功能不同，大致可分成四个大的类别，即检测仪表、显示仪表、调节仪表和执行器。若按结构情况分，又可分成基地式仪表和单元组合仪表两种。

四大类仪表之间的关系如图 2 所示。

1. 检测仪表

检测仪表的用途是测量生产过程中的某些参数，并按被测参数的大小成比例地转换成电的信号或气压信号。它的作用如人的耳目。

① 在科学技术领域中，把各种量分为十个大类，如时间量（时、分、秒）、光学量、电磁量和力学量等等。在仪表工业中，称热力工程中用的量为热工量；称电力工程中用的量为电工量；称重量、尺寸等为机械量；称与物质成分有关的量为分量。

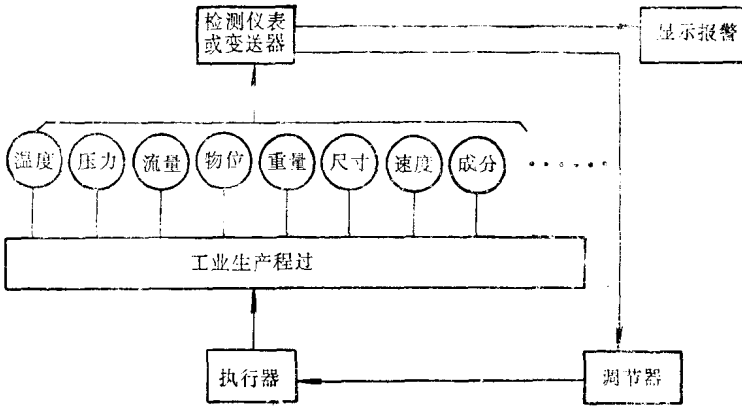


图2 各类仪表之间的关系

检测仪表中包括温度测量仪表、差压测量仪表、流量测量仪表、物位测量仪表、机械量测量仪表和成分分析器等。

2. 显示仪表

显示仪表用来指示、记录被测参数的数值，或者对生产过程的不正常状态发出警报，以便于操作人员随时了解和监督生产情况。

显示仪表中包括动圈式仪表、电子式显示仪表和气动显示仪表。

3. 调节仪表

调节仪表又叫调节器，其用途是对生产过程进行调节。它是根据检测仪表测量的结果和人为给定的信号（或来自其它仪表的信号）之间的比较来进行调节的。它代替了人对执行器的操纵。

调节器中包括自力式调节器、单一能源式调节器和复合能源式调节器。

4. 执行器

执行器的用途与暖气管道上的阀门很相似，调节阀能够控制房间的温度。不同的是这种阀门由手直接操纵，而执行器则接受调节器或操作人员发出的信号（如电信号、气压信号或液压信

号)，再通过本身的调节机构具体地去调节工艺管道中的物料量，以达到控制生产的目的。

执行器中包括电动执行器、气动执行器和液动执行器。

以上这四大类仪表在工业生产中大多配套使用。例如用检测仪表和显示仪表进行自动检测；用检测仪表、显示仪表、调节仪表和执行器进行自动调节等等。

四、工业自动化仪表的基本原理

工业自动化仪表的产品五花八门，品种上千，它们的测量范围不同，适用的场合不同，但是从根本原理上讲，大多数都是基于平衡原理。

什么是平衡原理呢？以最简单的天平为例，天平的两端分别放置砝码和被测物体，天平的两臂长短一样，当砝码与被测物体重量相同时，天平就会平衡，由此便可知物体的重量。这种平衡是重力平衡。而工业自动化仪表则采用力平衡（或力矩平衡）、位移平衡或电平衡的原理。例如，有的检测仪表就是用测量力或测量力矩同反馈力或反馈力矩进行平衡的。又如，最常见到的电子电位差计是用电平衡的原理。图3是检测仪表平衡原理的方框图。以力平衡原理为例，测量元件把被测参数（如温度、压力等）转换成所谓的测量力，经传动放大，变力为电信号或气压信号输出。反馈部件的作用是引回输出信号，并将它转换成所谓的反馈力，去平衡测量力。反馈力和测量力的方向是相反的，当两者大小相

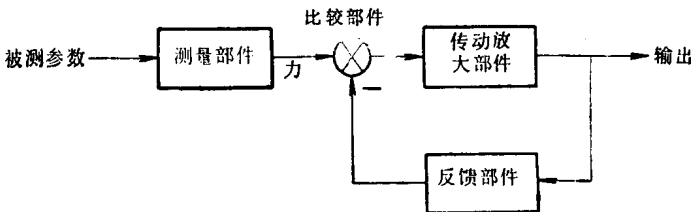


图3 检测仪表平衡原理方框图

等时，比较部件便能平衡下来，仪表的输出信号便达到稳定，从而代表出被测参数的大小。至于力矩平衡、位移平衡和电平衡的原理也是这样的，区别仅在于各个部件的结构不同。

五、工业自动化仪表的主要品质指标

任何一样产品都有它的质量标准。仪表也不例外。衡量仪表质量好坏的标准通常叫作品质指标。工业自动化仪表在保证可靠的前提下，主要的品质指标有如下几项：

1. 基本误差

基本误差是指仪表的最大测量误差与它的测量范围的百分比。例如，有一支温度计，测量范围为 $0\sim 100^{\circ}\text{C}$ ，它的最大测量误差为 1.5°C ，那么它的基本误差便是 1.5% 。

从仪表的基本误差可以看出仪表的精度等级。例如上述的温度计，其精度为 1.5 级。反过来讲，仪表的精度为 1.5 级，那么它的基本误差为 1.5% 。可见，精度和基本误差都是标志仪表测量结果的准确程度的。

2. 灵敏度

灵敏度指仪表的灵敏程度。例如有同样两台压力表，都通入一样微小的压力信号，其中一台表的指针不动，而另一台表的指针动。那么后者比前者要灵敏。因此可以这样说，使仪表指针开始动作的信号值越小，仪表的灵敏度就越高。

3. 稳定性

稳定性指仪表的稳定程度。在同样的环境条件下，用仪表进行多次测量，各次测量结果相差越小，仪表的稳定性就越好。

选用仪表时，不能单独追求某项指标，必须根据生产工艺的具体要求，实事求是地去选择。

六、工业自动化仪表常用的测量元件

工业生产中若想对温度、压力、流量、物位等等参数进行自

动测量或调节，首先的一步是要准确地检测出这些参数。因此，检测和检测仪表是非常重要的，犹如自动化系统的头，没有这一步，根本谈不上搞自动化。检测仪表从结构上讲，大都由表壳、测量部分、传动放大部分和反馈部分组成(见图3)。其中最为关键的是测量部分的测量元件。测量元件无论对仪表的质量还是对它的测量范围都有极其重大的影响。

常用的测量元件有膜片、膜盒、弹簧管、波纹管、温包、热电阻和热电偶等等，如图4和图5。

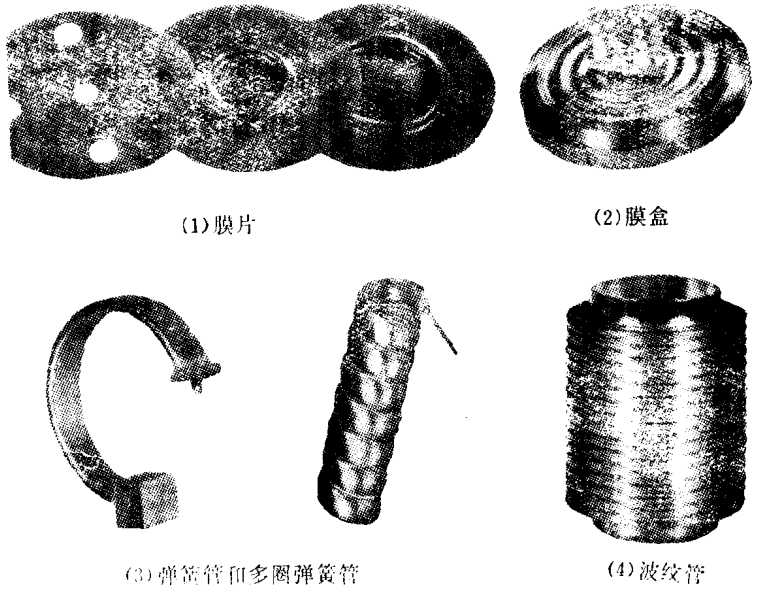


图4 常用的压力测量元件

1. 膜片

膜片种类很多，如橡胶膜片、塑料膜片、铍铜膜片、磷铜膜片和不锈钢膜片。它们是压制成带波纹或不带波纹的薄膜，有圆的、方的。根据需要不同，选择相应的材料和形状。膜片具有

弹性，受力能够变形。在它的弹性限度范围内，变形的大小与受力的大小成比例。因此，被测介质作用在膜片上以后，便能转换成测量力或位移。

2. 膜盒

膜盒由两片带波纹的金属膜片焊接而成，中间可以通入被测介质。在介质压力的作用下，它会伸张，即产生相应的测量力或位移。

3. 弹簧管

弹簧管是一根扁圆形或椭圆形截面的管子，把它弯成圆弧状。弹簧管的一端固定，另一端封闭，管内通入被测介质。在介质压力作用下，弹簧管变形（即伸直一些），其自由端产生位移。制造弹簧管的材料必须具有弹性，通常选用磷铜、铍铜、合金钢或不锈钢。被测压力低于 200 公斤力/厘米² 时用铜材，高于 200 公斤力/厘米² 时用钢材。

4. 波纹管

波纹管又叫折皱管或手风琴管。它是带折皱的管子。波纹管作为压力测量元件时，需将一端封闭，成为底部，并与传动机构相连。再将另一端固定，并通过其它管件通入被测介质。适合作弹簧管的材料也适合作波纹管。

以上几种测量元件都是利用了弹性元件受力变形的原理，通常用于测量压力、差压和负压力等。除弹簧管以外，其它几种元件还可以作为密封元件使用。

5. 温包

温包是用黄铜、碳钢或不锈钢制成的圆筒，它与毛细管以及仪表里指示或记录部分中的波纹管或弹簧管构成封闭的系统参看图 5 (1)，里面充有工作介质，如氟里昂、甲苯和氮气等。它的工作原理是基于工作介质的热胀冷缩。也就是说，介质的体积或压力与它的温度有一定的关系。因此，实际上用温包测量温度时，是利用它把被测介质的温度转换成工作介质的压力，再用压

力仪表把温度值显示出来。

6. 热电阻

从导电能力来看，有些材料是电的良导体，简称导体；有些材料根本不能作为导体，即绝缘体；有些材料则介于前面两者之间的为半导体。

导体和半导体材料的导电率与它本身的温度有很大的关系，当它们所处的温度变化时，它们的电阻值会发生变化。热电阻就是利用导体或半导体的这种特性制成的，专门用来测量温度。其外形如图 5(2) 所示。

比较适宜作热电阻的材料是铂、铜、铁、镍以及某些半导体材料，如铜的氧化物和镍的氧化物。

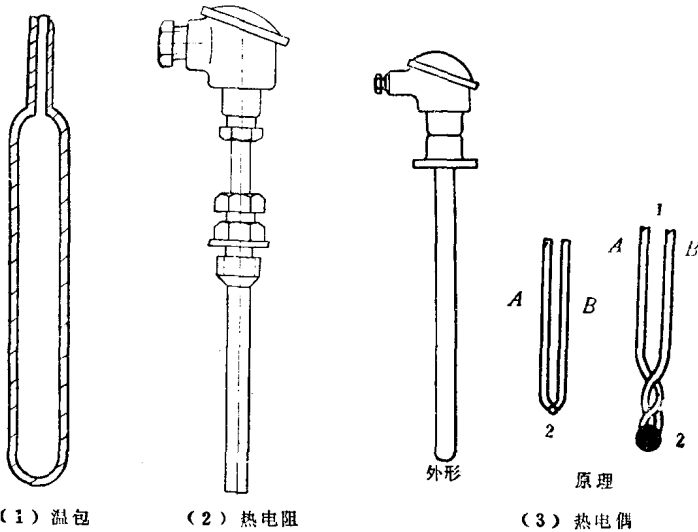


图 5 常用的温度测量元件

7. 热电偶

如图 5(3) 原理图所示，热电偶就是用两种不同的金属 *A* 和 *B* 焊接成的热电极，极间用瓷管绝缘。根据热电效应^①，在焊接

① 将两种材料的导体接合成一个回路，当两接点温度不同时，回路中会产生热电势。这种现象称热电效应。

端（即热端 2）加热，则在自由端（即冷端 1）会产生热电势。热电势的大小与热电偶材料及热端温度有关。当冷端温度恒定时，这个热电势的大小与热端温度的高低相对应。

图 6 是几种热电偶的热电势与温度的关系曲线。最常用的几种热电偶见表 1。

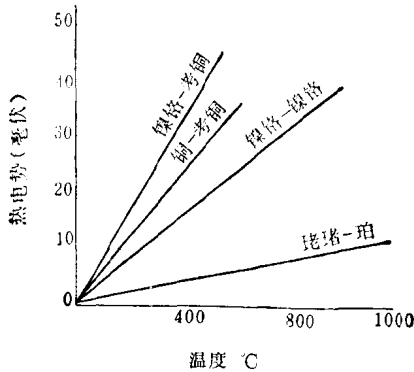


图 6 热电势与温度的关系曲线

表 1 常用的热电偶

类别	名称	分度号	特点	最高使用温度(°C)	
				连续使用	短时间使用
贵金属热电偶	铂铑-铂铑	LL	测量上限高，热电性能稳定，但热电势较小，价格较贵	1600	1800
	铂铑-铂	LB ₂		1300	1600
普通金属热电偶	镍铬-镍铝	EU	价格便宜，有较大的热电势，用的较多	1000	1300
	镍铬-镍硅				
	镍铬-考铜	EA		600	800
特种材料热电偶	碳-碳化硅		测温高于1800°C，但机械强度差。有发展前途	1800	
	钨-钨			2100	
	钨-石墨			1900	

热电偶的结构形式有很多种，如直的（长短不一）、直角的、多点式的（三点的、六点的）、快速微型的以及表面热电偶等等。它们的测温上限均受保护套管耐热能力的限制。

第二章 检测仪表

一、温度测量仪表

在热工量参数中，温度是最普遍、最重要的一个。在某些生产过程中，它对产品的质量和产量都有很大的影响。例如化学工业和炼油生产中的精馏操作，往往用温度的控制来保证精馏产品的质量。

温度是用来表明物体受热程度的。受热程度不同的物体接触时，必然发生热交换，即热量从温度高的物体传给温度低的物体，直到两个物体的温度平衡时为止。物体的温度变化时，它的某些物理性质（如几何尺寸、密度、电阻、热电势和辐射强度等）会随着变化。利用物体的这种特性便能测量物体的温度。也就是说，将某一物体与被测物体相接触，待它们达到温度平衡后，通过对该物体某种物理性质的测量来判断被测温度的高低。常见的体温表就是通过体温的变化，使表中的水银柱伸长或缩短，从而指示出体温的高低。

衡量温度的标尺称温度标尺，简称温标。它是用数值来表示温度的一种方法。国际上普遍采用的一种温标是国际实用温标，以“ $^{\circ}\text{C}$ ”代表测温单位“度”。它是以几种化学纯净的物质的凝固点或沸点作为基准而建立起来的。例如定氧的沸点为 -182.962°C ，水的沸点为 100°C ，锌凝固点为 419.58°C ，金凝固点为 1064.43°C 。

测量温度的仪表按其测量范围分，测量 550°C 以下的仪表叫作低温温度计，通称温度计；测量 550°C 以上的仪表叫作高温温度计，通称高温计。按仪表的作用原理分，测温仪表可分为接触式（仪表的测量元件与被测物体接触）与非接触式（仪表的测量