

工业自动化仪表丛书

10



自动调节仪表

崔根宝 周仕业 于世奇 编

机械工业出版社

本书系《工业自动化仪表丛书》之一，主要介绍了用于工业过程控制的各种自力式调节器、气动基地式调节仪表与简易电动调节仪表的工作原理与结构，比较详细地叙述了自力式调节器的组成，气动基地式调节仪表的安装使用与维修，同时也介绍了简易电动调节仪表各部件的种类、特点和线路。

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。

自动调节仪表

崔根宝 周仕业 于世奇 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登记证出字第 117 号)

北京市密云县印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{32}$ ·印张 10·字数 218 千字

1985 年 3 月北京第一版·1985 年 3 月北京第一次印刷

印数 00,001—13,600·定价 1.60 元

*

统一书号: 15033·5588

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，确保生产的优质、高效和安全。

随着我国社会主义建设的发展，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。

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，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》、《核辐射式测量仪表》、《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

IV

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

目 录

绪 论	1
一、什么是自动调节仪表	1
二、分类	2
三、自动调节仪表发展概况	2
第一章 自力式调节器	4
一、概述	4
二、自力式调节器的种类及选择	6
(一) 自力式调节器的种类	6
(二) 自力式调节器的选择	7
三、自力式调节器的组成	10
(一) 敏感元件	11
(二) 给定元件	31
(三) 偏差比较元件	32
(四) 执行机构	32
(五) 指挥器	33
(六) 调节机构	41
四、自力式压力调节器	47
(一) 自力式压力调节器的作用	47
(二) 自力式压力调节器的种类	48
(三) 自力式压力调节器的维护	77
五、自力式差压调节器	79
(一) 自力式差压调节器的作用	79
(二) 自力式差压调节器的种类	79
六、自力式温度调节器	82
(一) 自力式温度调节器的作用	82
(二) 自力式温度调节器的种类	82

七、自力式液位调节器	92
(一) 自力式液位调节器的作用	92
(二) 自力式液位调节器的种类	92
八、自力式流量调节器	99
(一) 自力式流量调节器的作用	99
(二) 自力式流量调节器的种类	99
第二章 气动基地式调节仪表	114
一、概述	114
(一) 用途和特点	114
(二) 总体结构方案及主要技术指标	115
二、结构与作用原理	118
(一) 测量部件	118
(二) 气动调节器结构原理	138
(三) 手动-自动切换部件结构及作用原理	156
(四) 报警部件结构及作用原理	161
(五) 气变送部件	162
三、调节器静态误差分析	163
(一) 显示精度	163
(二) 调节器的控制点误差	169
(三) 比例范围刻度及其误差	174
四、调试方法及故障排除	175
(一) 测试设备及其接线方法	175
(二) 示值误差调整步骤	175
(三) 调节器的试验调整方法及其故障排除	178
五、安装使用与维护	188
(一) 调节方式的选择	188
(二) 影响调节效果的几个因素	189
(三) 安装的基本要求	190
(四) 调节器的测量接管方法	191

(五) 调节器投入正常工作的方法、步骤及参数整定	195
(六) 维护	201
第三章 简易电动调节仪表	202
一、概述	202
(一) 简易电动调节仪表的特点	202
(二) 简易电动调节仪表系列的总体说明	203
(三) 简易电动调节仪表和各种检测输入信号及各种执行 器的连接	205
(四) 简易电动调节仪表主要技术指标	205
二、定值器	209
(一) 模拟定值器	209
(二) 四位数字定值器	212
(三) 热电阻 (或电阻值) 输入信号四位数字定值器	236
(四) 热电偶输入信号四位数字定值器	240
(五) 四位数字式时间程序定值器	243
(六) 四位数字式比率定值器	246
三、偏差放大器	250
(一) 线性集成电路直流偏差放大器	250
(二) 调制型直流偏差放大器	253
四、PID 运算放大器	261
(一) P、PI、PD、PID 运算放大器的输入-输出特 性和在调节系统中的作用	262
(二) PID 运算放大器原理	265
(三) PID 运算放大器主要技术指标	271
五、驱动转换器	271
(一) 调制型二位和三位式开关电路	271
(二) 二位式开关电路	275
(三) 时间比例开关电路	277
(四) 固定周期时间比例开关电路	279

VI

(五) 可控硅移相触发器	283
(六) 可控硅零触发器	286
(七) 电动伺服放大器	291
(八) 三位 PI 开关	294
六、典型品种的用途、构成和使用	298
(一) 简易电动调节仪表的外形尺寸和开孔尺寸	298
(二) 简易电动调节仪表系列中典型品种的用途和构成	298
(三) 典型品种的接线端子图	303
(四) 仪表安装调试注意事项	304

绪 论

一、什么是自动调节仪表

在工业生产过程中，经常需要使某些工艺参数保持在一定的数值上，才能使生产过程正常进行。现以图 0-1 所示的用人工操作以保持水箱液位恒定的例子加以说明。

从图 0-1 可知，只有当流入水箱的水流量与流出水箱的用水量相等时，水箱液位才能保持恒定。由于用水量经常波动，这就需要操作工人时刻用眼观察水箱液位指示器 1 内液位变化，通过大脑分析并指挥人手去操作调节机构（阀 2）以改变流入水箱的水流量来维持水箱液位的恒定。这里，称水箱为控制对象，液位为被调节参数，从阀门 3 流出的用水量称为负荷扰动量，人手相当如执行机构。

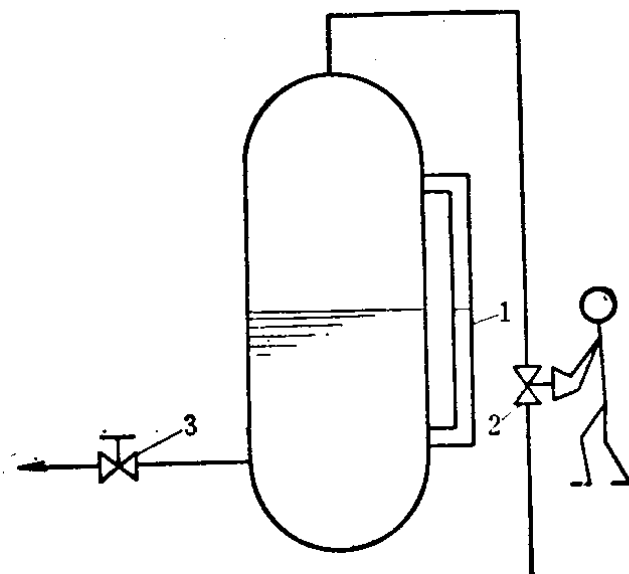


图0-1 用人工操作保持水箱液位恒定

1—液位指示器 2、3—阀门

所谓自动调节仪表即是指能代替操作工人完成类似上述任务的工业自动化仪表。它必须具备：

1. 能检测生产过程中被调节参数的变化。
2. 具有分析判断能力。
3. 以一定的方式发出信号，使执行机构动作。

二、分 类

自动调节仪表种类繁多，其分类如下：

1. 按有无附加能源，分为他力式及自力式两种。
2. 按能源种类，分为气动、电动和液动三种。
3. 按工作原理，分为力平衡式及位移平衡式两种。
4. 按其功能，分为基地（简易）式、单元组合式和组装式三种。
5. 按被调参数，分为温度、压力、液位和流量等。
6. 按调节方式，分为二位、三位、比例、比例积分微分等。

三、自动调节仪表发展概况

自动调节仪表发展是比较早的，最先出现的是自力式与基地式调节仪表，我国在五十年代初即开始仿制与普遍应用这类仪表。当时的生产规模较小，工艺过程简单，往往要求现场就地安装，单参数自动调节。自力式与基地式调节仪表由于具有结构简单、动作可靠、价格便宜和维修方便等特点而被广泛地使用。

随着现代化大型连续生产企业的不断出现，对自动调节系统提出了新的要求，如小型化、复杂运算和集中管理等，于是在六十年代初出现了单元组合仪表来适应这种新的要求。它与自力式和基地式调节仪表一道在工业生产过程中代替人的繁重紧张劳动，发挥了巨大作用，确保了生产有条不紊。

素地进行。

目前,自动调节仪表又从分散单元化向组合化发展,以满足典型生产工艺的需要。综上所述,自动调节仪表经历了由集中(自力式和基地式调节仪表)到分散(单元组合式调节仪表),再由分散到集中(组装式调节仪表)的发展过程。每前进一步,出现了一批新的产品,而老产品面临着新的挑战。只有不断改进使之面貌一新,才能在工业生产过程中继续发挥作用,而不至于被淘汰。本书重点介绍自力式与基地式调节仪表,这些产品是工业自动化仪表中不可缺少的组成部分。

该仪表的发展趋势是:

1. 部件单元化、组合化,尽量提高零部件的通用性。
2. 采用耐腐蚀的检测元件,扩大使用范围。
3. 采用新工艺、新元件和新原理,如偏差指示和粘接气路板等,以简化仪表结构、缩小体积,向小型化方向发展。
4. 提高仪表对各种环境条件的适应性,如耐高温、耐湿、耐化学腐蚀等。

第一章 自力式调节器

一、概 述

大家知道，用电动或气动单元组合仪表组成最简单的自动化系统如图 1-1 所示。图中控制对象可能是精馏塔的精馏过程，或是蒸发器中的蒸发过程，也可能是液罐中的液面，或是炉膛内的燃烧过程，或水鼓中的蒸汽产生过程。自动化的目的是利用一些检测仪表和自动调节器构成恰当的自动化系统，将生产过程中的主要参数自动调节在所需要的数值上。需要调节与控制的生产过程（无论是自动调节或用人工调节）都必须首先测量被调参数，这一任务是由检测仪表来担当的。在生产过程中，被调参数的波动是由于受到外界或系统内部各种干扰而产生的。在一般情况下，系统中最主要的干扰往往是对象的负荷。被调参数的变化，往往是由于负荷的改变引起，这时要使被调参数不再继续改变，甚至恢复至原来值，就要设法控制进入对象的能量或物料量，使进入的能量等于由负荷所引起的能量或物料量的变化，这就必须应

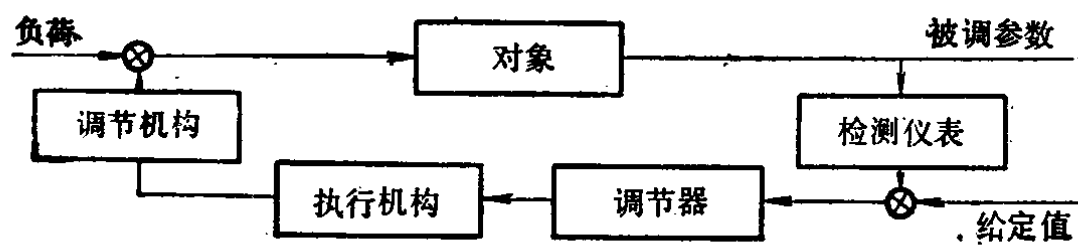


图1-1 典型的自动化调节系统

用调节机构。调节机构是直接和具有一定能量的介质（例如蒸汽、冷却剂、燃料、电流等等）或物料相接触并能以一定方式改变能量或物料量的机构。要使调节机构动作，从而控制生产过程，就必须有足够的动力。在自动化系统中的执行机构的作用是接受调节器的讯号，以一定的功率推动调节机构。在自动调节或人工调节生产过程时，上述检测仪表、调节机构和执行机构三者都是必须的。但是，要实现生产过程自动化，还必须在检测仪表和执行机构之间，串联一个自动调节器。调节器一方面随时接受检测仪表所测得的被调参数，另一方面随时将被调参数和给定值相比较，以便及时了解被调参数是否偏离了给定值，从而按一定的规律去推动执行机构。调节器可以按需要装在对象和执行机构的附近，检测仪表可以一定精度连续测量变化频繁的各种参数，从而使操作工从劳动条件不良、工作单调枯燥的情况下解放出来，转而能够从事其他方面的工艺生产控制工作。

自动调节器按照是否需要外来附加能源，分为他力式调节器和自力式调节器。他力式调节器按照所需能源的种类划分为电动调节器、液动调节器以及气动调节器。它们分别以电源、液压源、气源作为各自的能源。

自力式调节器不需要外来附加能源，它的感受元件直接接受被调节对象的能量，且按一定的调节规律工作，并产生足够的力直接带动调节机构。

用自力式调节器组成的自动化系统如图 1-2 所示。从图 1-1 和图 1-2 的对比中可以看出，用自力式调节器控制生产过程时较之用电动调节器，液动调节器或是气动调节器简单得多，自力式调节器代替了图 1-1 中的检测仪表、调节器、执行机构和调节机构在自动化系统中的功用。对于那些不需要

集中控制（因为自力式调节器必须装在现场）而又缺乏能源，且控制要求不是那么严格的工业控制过程，自力式调节器确是一种行之有效的控制工具。

自力式调节器具有结构简单、价格便宜、维修与操作方便、防火防爆、工作可靠等特点，因而广泛应用于钢铁、化工、石油、电力、

轻纺等工业生产过程的自动调节。但由于自力式调节器操纵调节机构的能量来自被调节对象本身，所以只能用于调节温度、液面、压力和流量等少数参数。它的功率不大，且对被调节对象的介质有一定的要求，所以只能适用于能为自力式调节器提供能源的场合。

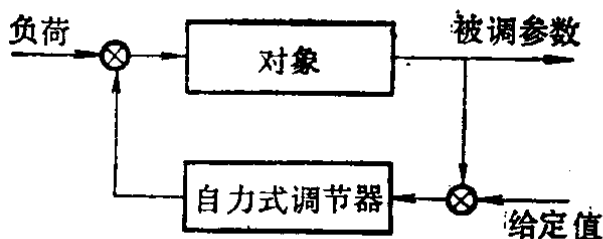


图1-2 自力式调节器组成的
自动化系统方框图

二、自力式调节器的种类及选择

（一）自力式调节器的种类

自力式调节器按照有无指挥器分为指挥器操作型和直接作用型调节器两种。直接作用型调节器是利用被调节对象的能量（如压力）与给定弹簧的平衡关系直接带动调节机构的调节器。指挥器操作型调节器实质上是一薄膜调节阀和一小流量调节阀的组合，被调节对象的能量（压力、流量）作用于小流量调节阀，而后经小流量调节阀控制薄膜调节阀的一种调节器。指挥器操作型调节器，按照其结构型式不同分为整体式和组装式两种。

自力式调节器按照其感受元件的种类可分为浮子式、膜

片式、靶式、文丘利式、温包式、双金属式等。这些感受元件分别将被调节的参数转换为能推动调节机构的力，或推动自力式调节器（指挥器操作型调节器）之小流量调节阀（指挥器）的小阀，将信号放大后去控制薄膜调节阀。

自力式调节器按照其用途不同可分为自力式压力调节器、自力式差压调节器、自力式温度调节器、自力式液位调节器和自力式流量调节器。在自力式压力调节器中又可分为阀前压力调节器和阀后压力调节器。自力式温度调节器又有加热用、冷却用两种结构型式；自力式液位调节器又可分为进料和出料用两种。

上述分类如图 1-3 所示。

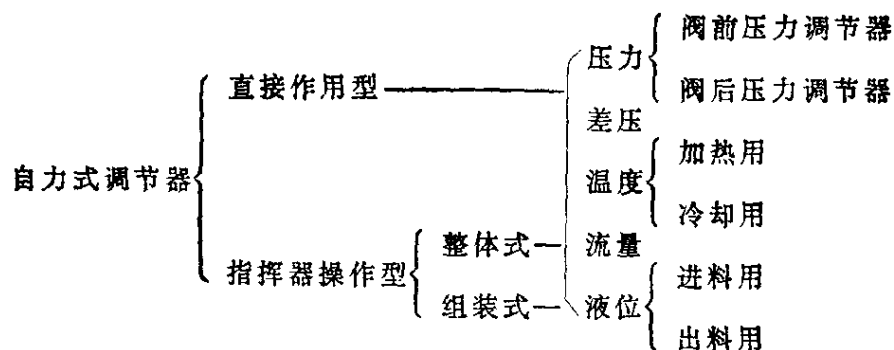


图1-3 自力式调节器的种类

（二）自力式调节器的选择

由于自力式调节器可直接安装在管道中与流体（如蒸汽、液体、气体等）接触，并接受流体本身的能量，按照工艺过程的要求调节流体的流量。自力式调节器的流通能力，是指自力式调节器的调节机构在全开状态下，阀两端压差为 1 公斤力/厘米^2 ，介质重度为 1 克力/厘米^3 时，流经自力式调节器的流体流量数，一般以 $\text{米}^3/\text{小时}$ 或 吨/小时 计。流通能力通常以 C 表示。

一般液体流通能力按下式计算：

$$C = Q_l \sqrt{\frac{\gamma_l}{p_1 - p_2}} \quad (1-1)$$

式中 Q_l ——液体流量 (m^3/h);
 γ_l ——液体重度 (kgf/cm^3);
 p_1 ——阀前绝对压力 (kgf/cm^2);
 p_2 ——阀后绝对压力 (kgf/cm^2)。

一般气体 (公称压力小于 100 公斤力/厘米²) 可按式 (1-2) 计算:

$p_2 > 0.5 p_1$ 时

$$C = \frac{Q_g}{380} \cdot \sqrt{\frac{\gamma_g (273 + t)}{p_1^2 - p_2^2}} \quad (1-2 a)$$

$p_2 \leq 0.5 p_1$ 时

$$C = \frac{Q_g}{330} \cdot \sqrt{\frac{\gamma_g (273 + t)}{p_1}} \quad (1-2 b)$$

式中 Q_g ——气体流量 (Nm^3/h);
 γ_g ——气体重度 (kg/Nm^3);
 t ——气体温度 ($^{\circ}\text{C}$)。

高压气体 (公称压力大于 100 公斤力/厘米²) 可按式 (1-3) 计算:

$p_2 > 0.5 p_1$ 时

$$C = \frac{Q_g}{380} \cdot \sqrt{\frac{\gamma_g (273 + t)}{p_1^2 - p_2^2}} \cdot \sqrt{z} \quad (1-3 a)$$

$p_2 \leq 0.5 p_1$ 时

$$C = \frac{Q_g}{330} \cdot \sqrt{\frac{\gamma_g (273 + t)}{p_1}} \cdot \sqrt{z} \quad (1-3 b)$$

式中 z ——压缩系数。

各种介质的饱和蒸汽可按式 (1-4) 计算:

$p_2 > 0.5p_1$ 时

$$C = \frac{G_s}{0.827K} \cdot \sqrt{\frac{1}{p_1^2 - p_2^2}} \quad (1-4a)$$

$p_2 \leq 0.5p_1$ 时

$$C = \frac{1.4G_s}{Kp_1} \quad (1-4b)$$

式中 G_s ——蒸汽流量 (kg/h);

K ——蒸汽修正系数。

几种常用介质的蒸汽修正系数 K 如下:

氨蒸汽	25	丁烷蒸汽	43.5
丙烷蒸汽	41.5	异丁烷蒸汽	43.5
丙烯蒸汽	41.5	甲烷蒸汽	37
氟里昂11	68.5	乙烯蒸汽	37

水蒸汽的流通能力可按式 (1-5) 计算:

饱和水蒸汽:

$p_2 > 0.5p_1$ 时

$$C = \frac{G_s}{16} \cdot \sqrt{\frac{1}{p_1^2 - p_2^2}} \quad (1-5a)$$

$p_2 \leq 0.5p_1$ 时

$$C = \frac{G_s}{13.8p_1} \quad (1-5b)$$

过热水蒸汽:

$p_2 > 0.5p_1$ 时

$$C = \frac{G_s}{16} \cdot \frac{1 + 0.0013\Delta t}{\sqrt{p_1^2 + p_2^2}} \quad (1-5c)$$

$p_2 \leq 0.5p_1$ 时

$$C = \frac{G_s(1 + 0.0013\Delta t)}{13.8p_1} \quad (1-5d)$$