

中等专业学校教材

化工仪表与 自动调节

柯象恒 編



中国工业出版社

中 集 专 业 解 机 教 材



化工仪表与自动调节



中国工业出版社

本书是按化工中等专业学校“化工仪表与自动调节”教学大纲编写的，阐述化学工业中常用的压力、流量、液面、温度和分析仪表的工作原理、构造性能及使用方法；同时，也介绍了化学工业中常用的几种调节器及有关自动调节的基本知识。

本书由化学工业部委托合肥化学工业学校柯象恒同志编写，大连化学工业学校王君仁同志审核。

本书供中等专业学校作为教学用书，也可供有关工程技术人员参考。

化工仪表与自动调节

柯象恒 编

*

化学工业部图书编辑室编辑（北京安定门外和平里七区八号楼）

中国工业出版社出版（北京佟麟阁路西10号）

北京市书刊出版业营业许可出字第110号

中国工业出版社第四印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

*

开本 $850 \times 1168\frac{1}{32}$ ·印张 $7\frac{1}{2}$ ·字数185,000

1965年6月北京第一版·1965年6月北京第一次印刷

印数0001—6,180·定价（科四）0.95元

*

统一书号：K15165·3767（化工-348）

編者的話

本书是根据化工类中等专业学校“化工仪表与自动調節”教学大綱編写的。适用于化工机械、无机工艺和有机工艺专业。分析专业在使用本书时，可根据具体情况略加增删。

“化工仪表与自动調節”課程的任务是：培养学生掌握化学工业生产过程中常用化工仪表的工作原理、构造、性能和安装校驗的一般規則，以达到能够正确使用和合理选择化工仪表；并对化工生产过程中的自动調節具有一般知識。

在編写本书时，力求突出重点，对广泛使用的化工仪表作了較为深入的闡述，对应用較少的化工仪表則只作一般性的敘述。至于自动調節方面的知識，按照教学大綱的要求和考虑到中专学生的知識水平，只作一般物理概念的介紹。

由于編写時間仓促，特別是能力有限，錯誤欠缺之处在所难免。我們衷心希望使用本书的教师、同学和其他讀者給予批評指正。

本书定稿时，曾由化工仪表教材編写小組有关同志提出宝贵意見，謹此表示謝意。

編者 柯象恒

1964年

目 录

編者的話

緒 論..... 1

第一篇 測 量 儀 表

第一章 壓力的測量..... 5

第一节 概述 5

第二节 液柱壓力計 7

第三节 彈性壓力計 11

第四节 電氣式壓力計 18

第五节 壓力計的選擇與安裝 20

第二章 流量的測量..... 23

第一节 概述 23

第二节 速度式計量表 24

第三节 體積式計量表 26

第四节 節流式流量計的理論基礎 28

第五节 節流裝置的構造、特點與選擇 47

第六节 差壓計 51

第七节 節流式流量計的安裝 62

第八节 轉子流量計 70

第九节 電磁流量計與超聲波流量計 74

第三章 液面的測量..... 77

第一节 概述 77

第二节 玻璃液面計 78

第三节 浮標液面計 79

第四节 靜壓液面計 81

第五节 差壓液面計 83

第六节 放射性同位素液面計 84

第四章 溫度的測量..... 85

第一节 概述 85

VI

第二节	膨胀式温度计	86
第三节	压力计式温度计	91
第四节	电阻温度计	94
第五节	热电温度计	103
第六节	测温元件的安装要求	125
第七节	辐射高温计	127
第五章	物料成分和质量的测量	136
第一节	概述	136
第二节	热导式二氧化碳气体分析器	137
第三节	热磁式氧气分析器	142
第四节	电导式硫酸浓度计	144
第五节	氢离子浓度计	148

第二篇 自动调节

第六章	自动调节器	153
第一节	概述	153
第二节	自动调节过程及其质量指标	156
第三节	调节对象的基本性质	158
第四节	自动调节器的分类	162
第五节	双位调节器	162
第六节	无定位调节器	167
第七节	比例调节器	172
第八节	重定调节器	178
第九节	单元组合调节器	180
第十节	调节器的选择	183
第十一节	执行机构与调节机构	185
第七章	化工单元操作自动调节举例	189
第一节	流体输送过程的自动调节流程	189
第二节	加热与冷却过程自动调节流程	193
第三节	精馏过程单参数自动调节流程	195
附录 I	化工仪表实验	197
I. 附表		208
参考书目		233

緒 論

一、仪表与自动化在化工生产过程中的地位与作用 化工生产过程必須随时保持在一定的操作条件下，才能順利和有成效地进行，产品的质量才能有所保証。为此，必須采用仪表来精确地測量影响生产过程进行的諸参数，如压力、流量、液面、溫度和物料成分等，并以測量的結果为根据，再通过人工或自动装置使生产过程随时保持在給定的条件。此外，由于高溫、高压技术在生产中的应用，以及化工生产中所处理的物料常具有易燃易爆等特性，只有广泛应用仪表，才可能确保安全生产。

化工仪表是用来检查測量表征化工生产过程进行情况的諸参数的仪表。采用化工仪表进行精确地測量，人們就能及时了解和掌握生产过程进行的情况，就有可能按需要进行操作和調节。所以，在現代化工厂中，化工仪表已經成为生产操作中不可缺少的工具。

化学生产过程自动化是化学工业发展的方向之一。自动化是采用自动装置控制生产过程，它是机械化的最高形式。自动化的发展过程首先是在生产中应用少数的仪表，进而发展到集中检查測量，随后是生产过程的部分自动化（例如应用自动装置以保持生产过程中一个或几个主要参数为給定的数值），最后是 整个生产过程的全部自动化。不論是部分或全部自动化，自动化装置都是以仪表測量的数据为根据，发出指令，借調节装置对设备进行調节和操作。因此，仪表（包括調节装置）是自动化的技术工具，是发展自动化的基础。

自动化可以使生产在严格的操作条件下进行，加 快 生 产 速 度，提高产品的质量，延长机器設備的使用寿命。此外，自动化可以改善劳动条件，保証安全生产，这对于高溫、高压、有毒性、有爆炸性的某些化工生产过程尤为重要。实现生产过程自动化不

仅有着重要的經濟意义，更有着巨大的社会意义。自动化可以从一个方面使脑力劳动和体力劳动更好地結合起来，为消除脑力劳动和体力劳动的差别創造物质条件。

但是，在資本主义国家，生产过程实现自动化則为的是更残酷地剝削工人，追求更多的利潤。自动化給工人带来的則是更紧张的劳动和更大量的失业。

二、仪表工业的概况及发展方向 我国劳动人民很早以前就发明了指南車、渾天仪、地震仪等測量仪器。但是，解放前在半封建半殖民地制度的統治下，生产极端落后，沒有自己的工业体系，近代仪表工业更是空白点。

解放后，在党和毛主席的英明领导下，我国已建立起自己的工业体系。随着社会主义建設事业的发展，兴建了仪表工业的生产基地，并且建立了相应的科学研究机关和培养仪表技术人材的高等、中等院校。現在我国不但能生产一般的仪表，而且还完成了不少精密的高級产品的研究和試制工作。

近些年来，世界上工业生产和科学技术先进的国家，对仪表和自动化装置的研究、生产和应用，給予很大的重視。仪表今后主要发展方向为：（1）标准化、系列化（这样可簡化仪表的生产过程和簡化使用部門对仪表的安装、維修工作）和微型化；（2）单元組合仪表及綜合式自动調节器；（3）物料成分分析仪表；（4）数字仪表；（5）特殊測量如超高温、特低温、超高压和微流量的測量以及新技术的应用；等等。

三、本課程的内容与任务 本課程講述化工生产过程中压力、流量、液面、溫度和物料成分分析等常用的检查測量仪表的基本原理、构造、性能和安装、校驗的一般規則，使同學們在理解的基础上达到能够正确地使用和合理地选择仪表；并对化工生产过程中的自动調节具有一般知識。

四、測量的基本知識 測量任何物理量都是用它来和用作单位的已知量相比較。無論采用什么測量方法和仪表，由于方法的不够完善和仪表的不够精确，以及由于人們感覺器官判断能力的

限制，使我們很难于得到完全准确的結果。因此，在測量时，不仅要根据仪表确定被測量的数值，还要确定測量誤差。

測量誤差来自两方面

1. 基本誤差 它是由于測量方法不够完善，仪表結構与制作不够精密而产生的誤差；

2. 附加誤差 它是由于外界因素（如溫度、压力、磁場等）变化时，对仪表指示值产生的影响，以及观察和使用时的疏忽等原因造成。

測量誤差常用的計算方法为：

1. 绝对誤差 a 它是仪表的指示数值 A 与被測量的实际数值 $A_{\text{实}}$ 之間的差值。即 $a = A - A_{\text{实}}$ ；

2. 相对額定誤差 Δa 它表示仪表的最大基本绝对誤差 $a_{\text{最大}}$ 与仪表測量范围 A_m 的比值，用百分数表示。即 $\Delta a = \frac{a_{\text{最大}}}{A_m} \times 100\%$ 。相对額定誤差在实用上用来表示仪表的精确程度。例如 $\Delta a = 1\%$ ，即表明仪表的精度为 1 級。

仪表的精度級常見的有：0.005、0.02、0.05、0.1、0.2、0.5、1.0、1.5、2.5、4.0 級。工业用的仪表的精度級一般在 0.5～4.0 之間。

由于化工仪表的类型很多，因此，也就有不同的分类方法，通常的几种分类方法为：

1. 按所測参数可分为压力計、流量計、液面計、溫度計和物料成分分析仪器等；

2. 按仪表示数表达的方法分为指示型、自动記錄型、触点型（訊号型）、远距离传示型、累积型等；

3. 按工作情况分为实用仪表（供实际測量用，其中有實驗室用的和工程用的）、范型仪表（用来对实用仪表进行校驗和刻度工作的仪表）、标准仪表（具有很高的准确度，用来复制和保持測量单位以及校驗范型仪表）。

对測量仪表的基本要求是：

1. 精度足够高，即誤差較小。

2. 反应迅速 从被测参数变化到仪表正确地指示出被测参数数值所需的时间，称为反应时间。反应迅速有利于及时了解和调节生产过程。

3. 灵敏度足够高 仪表的灵敏度 S 是仪表的指针位移 Δa (直线或角位移) 与造成这位移的被测量数值的变化 ΔA 两者的比值，即 $S = \frac{\Delta a}{\Delta A}$ 。灵敏度愈高的仪表，就能够感受到愈微小的参数变化。

4. 恒定度良好 恒定度是指仪表指示值在相同的外界条件下的稳定程度，通常以变差表示。当被测量由小增大或由大减小达到同一数值时，由于仪表机构的摩擦、间隙和弹性后效，以致仪表虽然是重复测量这同一数值，但却会指示不同的数值，这两个数值的最大差值称为仪表的变差。恒定度高的仪表变差小。

5. 便于使用。

思考题

1. 结合你所学的专业课，举例说明测量仪表在化工生产过程中所起的作用。

2. 仪表为什么要有一定的精度和灵敏度？精度和灵敏度有何区别？

3. 用仪表进行测量时为什么会有误差产生，如何区分基本误差和附加误差？知道误差对测量结果有何好处？

4. 何谓相对额定误差？相对额定误差与仪表精度等级有何关系？

第一篇 測量儀表

第一章 压力的測量

第一节 概 述

一、測量压力的意义 化学工业生产过程是在不同的压力下进行的。压力是决定化学反应情况的主要因素之一，它既影响平衡关系也影响反应速率，只有按照工艺条件的規定，保持一定的压力，才能保証生产正常地进行。压力对安全生产也有很大影响，例如在具有煤气的設備內，必須避免产生負压，因为进入空气易引起爆炸；又如高压設備的压力必須控制在一定範圍內，才能保証安全。此外，可以依靠測量压力而間接得知流量、液面或溫度，这将在以下叙述。

二、压力的定义及其单位 均匀而垂直作用于单位面积上的力叫压力。測量压力时，可分为：

绝对压力(P_1) 作用于单位面积上的全部压力；

表压(P) 绝对压力 P_1 大于大气压力 P_0 的数值。即 $P = P_1 - P_0$ ；

真空度($P_{\text{真空}}$ 或称負压、吸力) 绝对压力 P_1 小于大气压力的数值。即 $P_{\text{真空}} = P_0 - P_1$ ；

压力差(ΔP) 某两处压力之差。即 $\Delta P = P_1 - P_2$ 。

常用的压力单位有下列几种：

物理大气压 相当于垂直高度为 760 毫米水銀柱的压力。这时的重力加速度为 980.665 厘米/秒²，水銀的重度为 13.595 克/厘米³；

工程大气压 是工业上普遍采用的单位。相当于 1 公斤的力

均匀而垂直地作用在 1 厘米² 的面积上，用 1 公斤/厘米² 或 1 公斤力/厘米² 表示；

毫米水銀柱和毫米水柱 常用来表示低压或真空度。它是重力加速度为 980,665 厘米/秒²，温度为 0°C（水銀）或 4°C（水）时，水銀柱或水柱垂直高度所产生的压力。

此外，还有米水柱，公斤/米²，以及英制单位磅/吋² 等，但都很少采用。

各种压力单位换算关系见表 1—1。

表 1—1 各种压力换算表

压力单位	公斤/厘米 ²	公斤/米 ²	毫米水銀柱	毫米水柱	米水柱	物理大气压	磅/吋 ²
工程大气压	1.0000	10000	735.56	10000	10.000	0.9678	14.223
公斤/米 ²	0.0001	1.0000	0.0735	1.0000	0.001	0.0000967	0.00142
毫米水銀柱	0.00136	13.6	1.000	13.6	0.0136	0.00131	0.01934
毫米水柱	0.0001	1.000	0.0735	1.000	0.001	0.0000967	0.00142
米水柱	0.100	1000	73.556	1000	1.000	0.09678	1.4223
物理大气压	1.0332	10332	760.000	10332	10.332	1.000	14.696
磅/吋 ²	0.0703	703	51.715	703	0.703	0.0680	1.000

三、压力計分类 按照所测压力分为：压力計（用来测量表压），气压計（测量大气压力），差压計（测量压力差），真空計（测量真空度），以及微压計（测量很小的表压）和高度真空計等。

按照使用情况分：标准的，范型的（精度自 0.05~0.2 或 0.35）和实用的（精度自 0.5 以下）等。

按照示数表达的方式分：指示型，自动记录型，触点型（或称讯号型），和远距离指示型等。

按照压力計的构造原理分为：

1. 液柱压力計：有 U 形管、单管和斜管压力計等；
2. 弹性压力計：有弹簧管、螺旋管、膜片、膜盒和波紋管压力計等；
3. 差压計：有环式、浮子式和钟罩式差压計等；

4. 活塞式压力计；
5. 电气压力计：有电阻式、电容式和压电式压力计等。

第二节 液柱压力计

液柱压力计是根据流体静力学原理制成的最简单的测量压力的仪表。它通常用来测量较小的表压和真空度，也可用来测量压力差。

一、U形管压力计 U形管压力计的构造如图 1—1 所示。它是两端开口弯成 U 形的玻璃管，并配上零点在中間的标尺（通常以毫米为单位），管内充注工作液体至刻度的零点。

当左管与大气压力 P_0 相通，右管接入绝对压力 P_1 时 ($P_1 > P_0$)，在 P_1 的作用下，右管的液面下降，左管的液面上升，直到液柱 h 所产生的压力和 P_1 与 P_0 的差值相平衡时为止。此时：

$$P = P_1 - P_0 = h(\gamma - \gamma') \quad (1-1)$$

式中 P ——表压，公斤/厘米²；

h ——液柱高度差，厘米；

γ ——工作液体的重度，公斤/厘米³；

γ' ——工作液体上面介质的重度，公斤/厘米³。

如果工作液体上面的介质是气体，则 γ' 可略而不计，于是式 (1-1) 变为：

$$P = h(\gamma - \gamma') \approx h\gamma \quad (1-2)$$

由上式可知，当工作液体重度一定时，压力大小只与液柱高度有关。换用不同重度的工作液体，可测不同大小的压力。常用

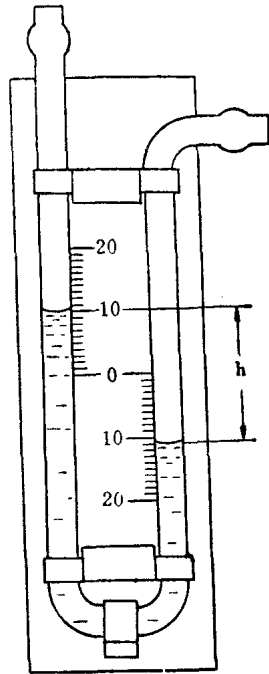


图 1—1 U形管压力计

的工作液体是酒精、水或水銀。

工作液体重度見表1—2。

表 1—2 工作液体的重度

液 体 名 称	化 学 式	20°C 时 的 重 度 公斤/厘米 ³
水銀	Hg	0.013547
溴化乙烯	$C_2H_2Br_2$	0.002147
四氯化碳	CCl_4	0.001549
水	H_2O	0.000998
甲苯	$C_6H_5CH_3$	0.000864
煤油		0.000800
酒精	C_2H_5OH	0.000790

由于液体的毛細現象，讀取液柱高度的方法应如图 1—2 所示。由于眼睛观察能力的限制，讀取的数值可能有0.5~1毫米的誤差。又因为两管的截面不可能完全相等，以致液面上升和下降的数值不会完全一样，所以应该分別讀取两管的液柱，再相加起来。这时，讀数誤差可能达到 2 毫米。为了减少讀数誤差，有些 U 形管压力計在刻度标尺上装有光学放大設備，以便于讀准。

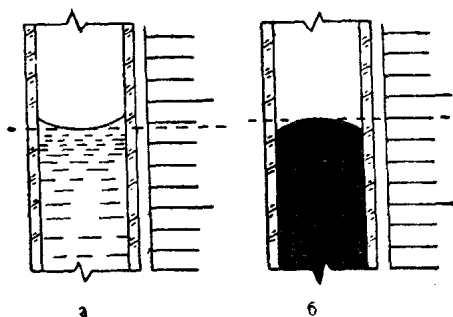


图 1—2 液体在玻璃管中的毛細現象
a—水；b—水銀

U 形管压力計測压上限为 100~1500 毫米液柱，当所測压力接近仪表的測量上限时，此种压力計有足够的精度。如所測压力較小，相对地来講，讀数誤差就較大，測量的精度就要降低。因

此，U形管压力計不适于測量微小的压力。例如：測压上限为200毫米液柱，精度为1級的U形管压力計，如用于測量20毫米液柱的压力，則相对誤差将增大为10%。

工业用U形管压力計装在特制的木座或鋼座上，这样可提高仪表的牢固性。

二、单管压力計 单管压力計又叫杯形压力計，其构造簡图如1—3所示，它是U形管压力計的一种变形。

杯的横截面积 F （或直径 D ）应远大于管的横截面积 f （或管径 d ）。

当杯的一边所接入的压力較大时，杯內液面下降 h_2 ，管内液面上升 h_1 ，总的液面高度差 h 为：

$$h = h_1 + h_2 \quad (1-3)$$

因为，管内增加的液体体积就是杯內减少的液体体积。即：

$$fh_1 = Fh_2$$

所以

$$h = h_1 \left(1 + \frac{f}{F} \right) \quad (1-4)$$

若杯形容器为圓形截面，則

$$\frac{f}{F} = \frac{d^2}{D^2} \quad (1-5)$$

故得

$$P = h\gamma = h_1\gamma \left(1 + \frac{d^2}{D^2} \right) \quad (1-6)$$

由于杯的直径 D 远大于管的直径 d ，因此比值 $\frac{d^2}{D^2}$ 很小（一般在0.002以下），所以方程式（1—6）可近似写成：

$$P = h\gamma = h_1\gamma \left(1 + \frac{d^2}{D^2} \right) \approx h_1\gamma \quad (1-7)$$

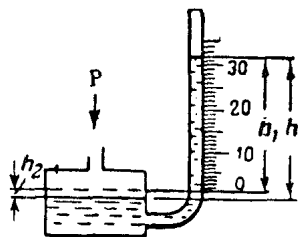


图 1—3 单管压力計

由方程式 (1-7) 可知, 使用单管压力计时, 只要读出在玻璃管内液体上升的高度 h_1 就可以表示被测压力的大小。显然与 U 形管压力计相比, 它的最大优点是读数容易, 只需观察一次。因此, 在液柱高度读数上的误差, 可较 U 形管压力计减少一半。此外, 单管压力计的强度也比 U 形管压力计高一些。

三、斜管压力计 斜管压力计的构造简图如图 1-4 所示。可以看出它和单管压力计的区别仅在于管柱是倾斜的。在测量微小的压力时, 管内液柱 h_1 虽然升高不多, 但液面的变化 n 却可以从标尺上明确读出, 其关系为:

$$\text{因为} \quad h_1 = n \sin \alpha \quad (1-8)$$

$$\text{又有} \quad \frac{n}{h_2} = \frac{D^2}{d^3} \quad (1-9)$$

$$\text{即} \quad h_2 = n \frac{d^3}{D^2} \quad (1-10)$$

$$\begin{aligned} \text{故得} \quad P &= (h_1 + h_2) \gamma = \left(n \sin \alpha + n \frac{d^3}{D^2} \right) \gamma \\ &= n \gamma \left(\sin \alpha + \frac{d^3}{D^2} \right) \approx n \gamma \sin \alpha \quad (1-11) \end{aligned}$$

式中 n —— 标尺读数;
 α —— 斜管与水平面间的夹角。

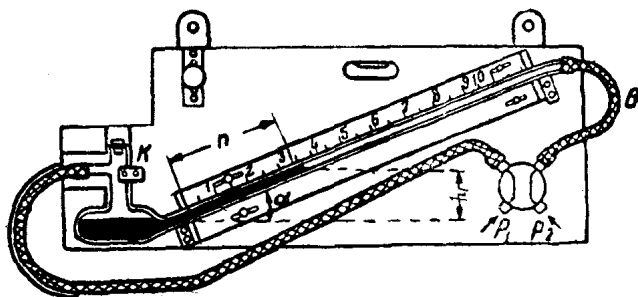


图 1-4 斜管压力计

斜管压力計使液面变化范围增大(倍数为 $\frac{1}{\sin\alpha}$)，易于讀出微小压力的变化，使仪表的灵敏度得以提高。一般多用于測量微小的表压、压力差或不大的真空度，因此，又叫做微压計。它的測压上限在15~150毫米水柱范围之内，并可讀准至 $\frac{1}{10}$ 毫米。

斜管压力計一般附有气泡水准仪，以便在安装和使用时，將仪表調整水平，保証角度 α 的准确。另外，有些斜管压力計的管柱角度是可以調整的。

四、液柱压力計的特点和使用 液柱压力計构造简单、价格便宜、精度能满足一般要求(精度有0.5、1、1.5及2.5級)；但玻璃易碎、不能承受較大的工作压力、測压范围小、讀数不方便。

使用液柱压力計时应注意：工作压力不得超过規定数值；工作液体重度与指示值有关，重度如有变化(例如溫度影响重度)，作精确測量时应加以校正；仪表应垂直或水平装置(前者如U形管后者如斜管)；被测介质不能溶于工作液体中。另外，当工作液体是水銀时，应避免中毒，因为水銀与破裂皮肤接触会引起紅肿、潰烂，长期吸入水銀蒸气会引起慢性中毒，故工作中要遵守水銀安全工作条例^①。

第三节 弹性压力計

弹性压力計是利用弹性元件在弹性限度內承受压力而变形的关系来測量压力。按照弹性元件的形状有管式和膜式两大类。管式弹性元件又分弹簧管(图1-5a)和螺旋管(图1-5b)。膜式弹性元件又分膜片(图1-5c)、膜盒和波紋管(又称为折皺管或风箱膜盒，图1-5d)。

弹性压力計按用途分有实用的和范型的两类。实用的制成

① 經常接触水銀的工作人員，其所在單位均有有关水銀安全工作条例。本书不作說明。