

高等学校交流讲义

化工仪表及自动化

天津大学等院校合编

高等学校交流讲义

化工仪表及自动化

天津大学等院校 合編

中国工业出版社

本书阐述化学工业中常用的测量仪表(包括压力、流量、液面、温度和成分的测量)及自动调节器的原理、构造、性能,以及正确选择和使用的问题,并介绍自动调节的基本原理,说明实现局部自动化的有关问题。

本书是化学工艺类、化工机械类及轻工类专业交流讲义,亦可供工厂技术人员参考,或作为中等技术学校有关专业的教学参考书。

本书是接受教育部与化学工业部的委托,在天津大学召集的化工仪表及自动化组教材选题会议上,由大连工学院、天津大学、北京化工学院、成都工学院、华东化工学院、华南化工学院和浙江大学等参加会议的代表,吸收了各院校本课程讲义的内容,集体编选而成的。

化工仪表及自动化 天津大学等院校 合编

中国工业出版社出版 (北京编辑室 10号)

(北京市书刊出版业营业登记证出字第113号)

化工印刷厂印刷

新华书店科技发行所发行·各地新华书店经销

*

开本 $850 \times 1168^{1/32}$ ·印张 $11^{1/16}$ ·字数281,000

1981年7月北京第一版·1961年7月北京第一次印刷

印数0001—7533·定价(10—6)1.60元

统一书号15165·0192(化工—10)

目 录

緒 論

第一篇 化工測量仪表測量知識与术語

第一章 壓力及真空度的測量	14
§ 1—1 概述	14
§ 1—2 液柱壓力計	16
§ 1—3 彈簧壓力計	23
§ 1—4 活塞壓力計	30
§ 1—5 電學壓力計	29
§ 1—6 壓力計的選擇、安裝和試驗	33
第二章 流量的測量	36
§ 2—1 概述	36
§ 2—2 節流裝置流量計的理論基礎	37
§ 2—3 流量公式中的系數及實驗數據	41
§ 2—4 求算流量問題	47
§ 2—5 節流裝置的計算問題	53
§ 2—6 節流裝置的構造	56
§ 2—7 差壓計	58
§ 2—8 節流流量計的裝置和校驗	64
§ 2—9 轉子流量計	73
§ 2—10 其他測流量的方法	77
第三章 液面及料面的測量	81
§ 3—1 概述	81
§ 3—2 玻璃液面計	82
§ 3—3 浮球液面計及沉筒液面計	83
§ 3—4 靜壓及差壓液面計	85
§ 3—5 固體顆粒料面的測量	87
第四章 溫度的測量	87
§ 4—1 概述	87
§ 4—2 膨脹溫度計	91

§ 4—3	压力計式溫度計	98
§ 4—4	热电偶溫度計	105
§ 4—5	电阻溫度計	145
§ 4—6	測溫元件的安裝	156
§ 4—7	輻射高溫計	159

第五章 物料成分的測量 171

§ 5—1	概述	171
§ 5—2	化学式气体分析器	172
§ 5—3	热导式气体分析器	177
§ 5—4	磁导式气体分析器	183
§ 5—5	紅外線分析器	185
§ 5—6	电导式成分分析器	190
§ 5—7	氢离子浓度測定計	191

第二篇 化工生产过程自动化

第六章 自动化系統概述 195

§ 6—1	自动化系統的类型	195
§ 6—2	自动調节系統概述	198
§ 6—3	对自动調节系統的要求	202

第七章 調节對象的特性 206

§ 7—1	調节對象的負荷	206
§ 7—2	對象的容量及容量系数	208
§ 7—3	對象的敏感度	212
§ 7—4	對象的自衡系数	214
§ 7—5	對象的滞后時間	218
§ 7—6	對象特性的实验測定法	221

第八章 調节器 222

§ 8—1	概述	222
§ 8—2	断续式調节器	224
§ 8—3	无定位式調节器	234
§ 8—4	比例式調节器	244
§ 8—5	重定式調节器	256
§ 8—6	超前(微分)調节器	264

第九章	自動調節系統的過程品質及參量選擇.....	267
§ 9—1	自動調節系統的靜態特性.....	267
§ 9—2	自動調節系統的動態特性.....	273
§ 9—3	調節器的選擇.....	277
§ 9—4	調節器的調整.....	278
第十章	調節閥.....	281
§ 10—1	氣動調節閥、電動閥和電磁閥.....	281
§ 10—2	伺服機和調節機構的配合.....	286
§ 10—3	節流調節閥的原理和特性.....	287
§ 10—4	調節閥的選用和計算.....	290
第十一章	自動信號、聯鎖及保護系統.....	297
§ 11—1	繼電器.....	297
§ 11—2	繼電綫路.....	301
§ 11—3	自動聯鎖綫路.....	305
§ 11—4	帶有中央聲號系統的工藝參數信號系統.....	308
第十二章	化工單元操作自動調節.....	310
§ 12—1	泵的流量自動調節.....	310
§ 12—2	加熱、冷卻及換熱的自動調節.....	314
§ 12—3	精餾過程的自動調節.....	316
§ 12—4	化工生產自動化系統的設計.....	324
	結束語	328
	附錄	333
	參考書目	356

緒 論

全盘机械化和自动化是现代工业的发展方向。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。自动化可以加快生产速度，提高成品的質量，可以使很多連續生产过程在最佳的操作条件下进行，因而可以得到更多、更好的成品，同时也延长了設備的使用寿命，防止事故的发生，总的說来，在經濟上可以提高劳动生产率，降低生产成本，改进产品質量。同时，自动化可以改善劳动条件，降低劳动强度，保障生产安全，改变生产面貌。

我国人民在中国共产党和毛主席的英明领导下，在总路綫的光輝照耀下，正在迅速改变祖国一穷二白的面貌，为建成一个具有现代工业、现代农业和现代科学文化的社会主义强国而奋斗。特别是自一九五八年大跃进以来，取得了空前的成就，工业战线上的技术革新和技术革命运动，規模空前壮阔，机械化、半机械化、自动化、半自动化的程度有了很大的提高。我国已建成一些大型的、达到一定自动化水平的化学工厂，其中有些是在苏联和各社会主义兄弟国家的援助下，用最新技术成就装备起来的；除了新建工厂以外，老厂也进行了技术改造；除了大型工厂以外，中小型厂也大搞四化。很多事实說明，那种認為自动化高不可攀的观点是不正确的。

在社会主义制度下，生产是为了最大限度地滿足人民日益增长的物質与文化的需要，任何技术上的进步都有利于社会主义經濟建設和有利于劳动人民生活水平的提高。

伟大的苏联正全面开展着共产主义建設。苏联已建成不少完全自动化的水电站、机器制造車間、冶金車間以及某些化学生产部門，局部自动化的工厂更是普遍。苏联在七年計劃中規定要在生产过程全盘机械化的基础上完全消灭国民經济一切部門中的繁重手工劳动，并将由某些机組的自动化过渡到全盘自动化，除了

完成自动化工作的总计划外，特別規定在各工业部門中要建成五十个以上的試驗性企业，来实现全盘自动化的最新方案。在自动及遙控技术等方面，苏联已远远領先于一切資本主义国家，从第一个人造卫星的上天，到宇宙飞船載人遨游太空，雄辯地說明了极高度的科学技术水平。在社会主义国家內，自动化水平愈高，劳动人民的劳动条件愈好，劳动人民的生活更加幸福。但在資本主义国家內，自动化却被垄断资本家作为更残酷地剝削工人、获取超額利潤的手段。技术的进步反而使劳动人民的生存权利受到严重威胁，工厂改为自动化后，带来了严重的失业現象，大量工人被裁减。同时，留下的工人的劳动强度却大大加强了，这是因为随着自动和半自动裝置的采用，每个工人所需照管的机器增加了，机器的操作速度也加快了，劳动条件也更加恶劣了。

在两种不同性質的社会制度里，自动化产生了截然不同的效果，从这里人們可以看到，社会主义社会制度的无比优越性和資本主义社会制度的腐朽性，从这里人們也清楚的看到，一切科学技术必然都是为政治服务的。

+ + + + +

任何自动化系統都是由对象与自动裝置組成的。所謂对象，就是被控制的設備或机器；所謂自动裝置，就是按照人們預先給定的規律，来控制对象的技术工具。

自动裝置可以分成四类：

(1) 自动检查測量裝置 用以自动检查和測量工艺过程的进行情况，通常是通过感受元件来感受参数的变化，而在指示或記录仪表上显示出来，常用的检测仪表即属此一类型；

(2) 自动操縱裝置 用以自动把設備启动及停止，并进行交换接通等操作，用繼电接触裝置或凸轮机构来控制机組的启动、停車、制动、变速等工作情况，即属此一类型；

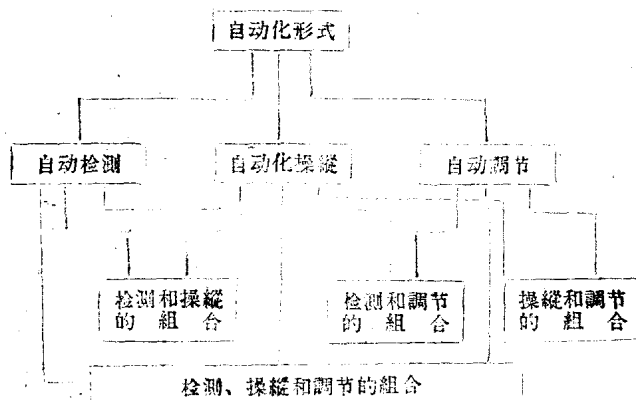
(3) 自动調节裝置 用以自动控制連續进行的工艺过程，使参数保持給定的函数关系，一般是保持在給定值的水平，其特点在于：所完成的操作的特性完全取决于調节对象在該瞬間（或

測量瞬間) 的狀況, 常用的自動調節器即屬此一類型,

(4) 自動保護裝置 用以保證設備在特殊條件下工作正常, 例如在一部分設備損壞時, 會自動進行切換, 把備用的設備轉入操作, 又如在工藝過程的規定標準受到破壞時, 會自動實現某些緊急措施, 以防止事故的發生, 常用的繼電連鎖保護裝置, 即屬此一類型。

當對象與自動裝置間距離較遠時, 可加裝發訊和收訊的裝置, 實現遠距離測量、操縱和調節。

此外, 也廣泛採用各種組合的系統, 來更好地實現自動化的任務, 可以有下列的多种形式:



自動裝置的元件, 就其作用任務可分為三大類:

(1) 檢查測量元件 用以感受工藝參數的變化, 而轉換成相應的記號。檢測儀表的類型很多, 按其參數可分為壓力、流量、液面、溫度及成分的測量等;

(2) 中間元件 用以實現放大、變換、比較、校正等任務, 如接觸器、放大器、調節器中的調節裝置等都是中間元件;

(3) 執行機構 用以直接控制被調節的設備或機器, 改變輸入對象的(或自對象引出的)物料或能量, 各種調節閥就是執行機構。

要实现生产过程的自动化，必須掌握各种自动化技术工具的性能。各种测量仪表是自动化系統的“眼睛”，如果没有可靠的仪表来真实地反映工艺过程的变化情况，是很难使生产正常进行的。要实现生产过程的自动化，必須掌握对象与自动装置間的作用規律，因为系統是它們两者构成的矛盾統一体，有着內在的联系。

本书共分两篇，第一篇为化工测量仪表，主要是闡述各种常用的测量仪表（包括压力、流量、液面、溫度及成分的测量）的原理、构造和性能，以及正确选择和使用的问题，第二篇为化工生产过程自动化，主要是介紹自动調节的基本原理、自动調节器的原理結構和性能、自动信号、連鎖、保护系統的綫路、以及化工单元操作自动化的流程等。要求在学完本課程后，能够对自动检测系統和局部自动化系統的配置和运行具有一定的理論基础和工作能力。

第一篇 化工测量仪表测量知识与术语

1. 测量的定义

测量是用实验方法来决定待测物理量与所选用的测量单位之间比值的工作过程。

用数学式来表示，即

$$Q = qu \quad (1)$$

式中：Q——被测物理量；

q——测量值，即被测物理量和所选单位的比值；

u——测量单位。

在测量方式上，一般可以分成三类：

(1) 直接测量：凡是根据实验数据，可以直接得出测量结果的测量方式，都属于直接测量。如用温度计来测量温度，用压力表来测量压力等。

用数学式表示，即

$$y = x \quad (2)$$

式中：y——是被测量值，x为测量结果。

(2) 间接测量：从一些直接测量的结果，再通过一定函数关系的运算，而求出测量结果的测量方式，称为间接测量。如在流量测量中，根据节流装置中的压力降来计算出流量便是。

用数学式表示，即

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (3)$$

(3) 联立测量：用一种或几种数值的多次测量结果，通过解联立方程式的办法以求得测量结果的测量方式，称为联立测量（组合测量）。例如，用电阻温度计测量温度时，铂电阻随温度而变化的关系为：

$$R_t = R_0(1 + At + Bt^2) \quad (4)$$

式中：R₀——在0°C时铂电阻值；

R_t ——在 $t^\circ\text{C}$ 时铂电阻值；

A, B ——温度系数。

要求取温度系数 A, B ，先测得不同温度下之 R_t ，再解联立方程即可。

联立测量一般只在实验室中才会遇到。

2. 测量仪表

凡是用来直接或间接将被测量和测量单位作比较的设备均称为测量仪表。

它们可分为下列几种：

(1) 比较式仪表：包括各种用来将量仪互相作比较；或者是将被测量与量仪或标准作比较的仪表，如天平、电位计、活塞式压力计等。

(2) 指示式仪表：是指那些通过直接读数装置，把被测量的瞬时值指示出来的仪表，如温度计、弹簧压力表等。

(3) 自动记录式仪表：具有单独的记录机构，能自动把被测量连续记录下来，如自动记录式压力表、高温计等。

(4) 积算式仪表：具有专门的累积机构，能把被测量的累积数值直接指示出来的仪表，如流速式和容积式流量计等。

(5) 调节式仪表：是指这样一些仪表，它们有附加的调节运算部分，能根据被测量的予定值，来自动调节工艺过程的仪表。

如将检查测量仪表按其作用来分类，则仪表又可分为：

(1) 范型仪表：凡是用来复制和保持测量单位，或者用来进行各种测量仪表的校验和刻度工作的仪表，叫做范型测量仪表。用来复制和保持测量单位的具有最高精确度的范型仪表，叫做标准仪表。

(2) 实用仪表：供实际测量工作用的仪表，叫做实用测量仪表。实用测量仪表又可分为实验室用的和工程用的两种。属于前一种的测量仪表，在运用时是要考虑到准确度的；属于后一种

的測量仪表，在运用时采用预先規定的准确度。

3. 誤 差

測量是一种实验性的工作过程，在測量过程中，由于所使用測量工具本身的不准确、外力的影响、观测者的主观性以及周围环境的影响等原因，使測量結果不可能绝对正确，我們把被測量的指示值和其实际值的差值称为誤差。

按測量誤差的特性来分，有三种类型：系統誤差、粗誤差和偶然誤差。

(1) 系統誤差(又称規律誤差)，它包括附加誤差——由仪表本身不准确或受周围环境影响而引起的測量誤差；及方法誤差——由測量方法不正确所引起的測量誤差。这种誤差出現的方向、大小都有一定的規律，可以从測量結果中把它消除或减少。例如周围溫度的影响，观测者固定的視差等。

(2) 粗誤差(又称疏忽誤差)，是由于測量者主观性錯誤造成的，如刻度用錯了，讀数时看錯了数值等。这种誤差必須从測量結果中除去。

(3) 偶然誤差：是由一些事先不知道的因素所引起的，这种誤差出現的方向、大小从每一次的測量值来看，它是沒有任何規律的，但是，从大量的測量結果来看，它是服从于或然率規律的。

从衡量仪表的精确度的观点出发，測量誤差又可分为绝对誤差、相对誤差和引用相对誤差。

(1) 绝对誤差：即測量值和真实值之間的差值，可表示为，

$$\delta = A - A_0 \quad (5)$$

式中的 A 为測量值， A_0 为真实值， δ 为绝对誤差。

(2) 相对誤差：就是測量的绝对誤差 δ 和真实值 A_0 之比，

即

$$\gamma = \frac{\delta}{A_0} = \frac{A - A_0}{A_0} \quad (6)$$

式中的 r 为相对误差。

(3) 引用相对误差：就是测量中最大的绝对误差和仪表的测量范围之比。

4. 仪表的品质指标

(1) 精确度：是表示仪表测量结果的可靠程度的。也可用下式表示：

$$r_0\% = \frac{\delta_0}{A_x} \% \quad (7)$$

式中的 A_x 是仪表的测量范围， δ_0 是仪表测量时可能产生的最大绝对误差。

为了便于表示，习惯上去掉上式中的%，称之为该仪表的精确度等级。例如，一压力表其测量范围为0~100(公斤/厘米²)，若精确度为1.5级，则表示其最大误差不超过 $100 \times 1.5\% = 1.5$ (公斤/厘米²)。

(2) 灵敏度：它表示仪表指示装置的直线位移或角度位移，与造成该项位移的被测参数值变化量之间的比值。可用下式表示：

$$S = \frac{\Delta a}{\Delta A} \quad (8)$$

式中 S ——仪表的灵敏度；
 Δa ——仪表指示装置的直线或角度位移；
 ΔA ——被测量参数的变化。

(3) 恒定度：它表示仪表在相同的外界条件下工作的稳定程度。恒定度是以仪表的变差来表示。变差是指在外界条件不变的情况下，对同一数值进行反复测量（正行程和反行程）时，所产生的最大差值与仪表的测量范围之间的比值（以%表示）。

第一章 压力及真空度的测量

§ 1-1 概 述

化学工业生产过程是在各种不同的压力下进行的，有的工业过程需要高压，也有许多过程需要高度的真空。压力是决定反应情况的主要因素之一，它不仅影响平衡关系，同时也影响着反应速率。因此，压力的测量和控制是保证反应顺利进行的一个重要环节。

此外，别种物理量也常由压力间接测得。例如，测温用的压力计式温度计多数是按蒸气或气体压力的变化而推算温度的；液面高度可由液体的静压力求出；绝大多数的流量计是根据流速变化时所产生的压力差来测量流量的。这样，更显出了测压仪器应用的广泛性。

测量压力时，可能有下列三种不同的情况：（1）测定某一点的真正压力，即所谓绝对压力；（2）测定某一点的压力与大气压力间的差值，如果此点的压力高于大气压力，则此差值称为表压，如果此点的压力低于大气压力，则此差值称为真空度。通用代数式来表示，则绝对压力、表压及真空度间的关系如下：

$$p_u = P - p_a, \quad (1-1)$$

$$p_v = p_a - P, \quad (1-2)$$

式中的 p_u 为表压， p_v 为真空度， P 为绝对压力，而 p_a 为大气压力；（3）测定二点之间的压力差。

假使大气压的数值对所研究的过程或所测的变量有所影响时（例如测定液体的沸点），以测量绝对压力为宜。但在多数情况下，测定表压力或差压，已满足工业上的要求。

工业上所需测量的压力范围极宽，由小于 10^{-4} （毫米汞柱）的绝对压力起以至大于 2000 公斤/厘米² 以上。同时，由于使用情况 & 所要求的准确程度不同，测压仪表有着各种不同的类型。按照所测压力的高低，可分成：（1）压力计，用以测定高于大气压

的压力，通常是测定表压；（2）气压计，用以测定大气压；

（3）真空计，用以测定低于大气压的压力，通常是测定真空度；（4）风压计和通风计，用以测定数值较小的表压和真空度；（5）压力真空两用计，可以兼测表压或真空；（6）特种测压仪表，如高度真空计等。

按照所要求的精确程度，可将测压表分成精确度 0.005，0.02，0.05，0.1，0.2，0.5，1.0，1.5，2.5 及 4 等各级（此物有用作范型之弹簧压力计，准确度级为 0.35）。前面已经精确度的级数即表示容许误差的百分率。

按照使用情况，又可分成（1）标准的（精确度 0.1 以上）；（2）范型的（精确度 0.1—0.5）；与（3）工作用（精确度 1—4）的三类。工作用压力计直接用于操作场所，而用范型压力计来进行校验。至于范型压力计本身的校验，则需用标准压力计。

按照测压仪器的作用原理和构造，则可分成：

（1）液体压力计，所测压力差由压力计内液体的静压差来平衡，实验室常用的 U-型压力计即属此类。本类又可分成：

- （i）液柱压力计；
- （ii）环天秤式压力计；
- （iii）钟罩式压力计；
- （iv）浮标式压力计。

（2）弹簧压力计，所测压力使弹性元件发生变形常用的弹簧管压力表即属此类。本类又可分成：（i）单圈式；（ii）多圈式；（iii）鼓膜式；及（iv）折皱管式等。

（3）活塞压力计，依据液体传递压力的原理，所测压力与活塞上的载荷相平衡，静重压力校验器即属此类。

（4）电学压力计，利用压电原理或高压下电阻的变化等电学方法，以测定压力。

此外，按照测压仪表表达示数的方式，可分成（1）指示型；（2）自动记录型；及（3）带有电学的或气动的远距传示装置或调节装置的类型。

以上就各式各样的分类方法作了概括叙述，下面将按压力计的作用原理及构造分类讨论。

§ 1-2 液柱压力计

液柱压力计是液体压力计的一种，依据流体静力学原理制成。液柱压力计不仅可以测度表压和真空，也可以测度两点的压力差，在工厂与实验室都属常用。它的优点是使用容易，价格低廉，而且准确度较高。缺点是：两柱的压力差不能很高，测压范围颇受限制，同时压力计本身的耐压程度亦差（工业用的超过150公斤/厘米²）的。

1. U-型液柱压力计

图1-1所示为实验室用的式样，也可说是最基本的式样，主要为一U形的玻璃管，内盛水银或其他液体。如一端与测压空间相连，它端与大气相通，则可由液面差测出表压或真空度，如两端分接两点，则可测出压力差。表压（真空度，或压力差）与压力计读数间的关系是：

$$P = h(r_h - r') \quad (1-3)$$

式中， P 为表压或压力差（公斤/厘米²）；

h 为液面差（厘米）； r_h 为工作液的重度（公斤/厘米³） r' 为工作液之上的流体的重度（公斤/厘米³）。

由于肉眼观察能力的限制，观察任何一柱的液面时的误差可能达1〔毫米〕，对于两柱的液面差，须观察两次，故误差可能达2.0（毫米）。如用放大镜帮助观察，则可使误差减少至0.5（毫米）；因为液面有毛细管现象，倘无其他的附加装置，很难使误差再行减低。由此可知，如测压范围较大，则误差百分率较低。例如，测压范围为20（厘米）液柱时，误差百分率为1%；而测压范围为2（厘米）时，误差百分率将增为10%。所以U-型液柱压力计并不适宜于测度微小的压力差。

为了克服不耐压的缺点，就须在结构上加以改变，工业用的