



普通高等教育“十二五”规划教材

# 化工原理实验

(第二版)

梁亮 主编 / 李燕 副主编

中国石化出版社

[HTTP://WWW.SINOPEC-PRESS.COM](http://www.sinopec-press.com)

普通高等教育“十二五”规划教材

# 化工原理实验

(第二版)

梁 亮 主 编  
李 燕 副 主 编

中国石化出版社

## 内 容 提 要

《化工原理实验》是《化工原理》《流体力学与传热》及《传质与分离过程》等相关课程的配套教材,注重培养学生综合素质,通过实验操作使学生掌握化工生产的基本操作技能。内容包括两部分:第一部分为化工原理实验基础知识,主要介绍化工原理实验概要、实验数据及测量误差、化工实验参数的测量技术与仪表、实验数据的处理方法以及操作基本技能;第二部分为实验内容,主要介绍化工原理各主要单元操作的演示、验证性实验与综合、设计性实验的实验装置、实验原理和实验操作方法。

本书可作为高等院校本科及专科的化工原理实验教材,也可供化学工程、环境工程、材料工程、食品工程、生物工程、油气储运工程、应用化学等专业的工程技术人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

化工原理实验 / 梁亮主编. —2 版. —北京:中国石化出版社,2015. 1  
普通高等教育“十二五”规划教材  
ISBN 978-7-5114-3122-6

I. ①化… II. ①梁… III. ①化工原理-实验-高等学校-教材 IV. ①TQ02-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 287250 号

未经本社书面授权,本书任何部分不得被复制、抄袭,或者以任何形式或任何方式传播。版权所有,侵权必究。

### 中国石化出版社出版发行

地址:北京市东城区安定门外大街 58 号

邮编:100011 电话:(010)84271850

读者服务部电话:(010)84289974

<http://www.sinopec-press.com>

E-mail:press@sinopec.com

北京科信印刷有限公司印刷

全国各地新华书店经销

\*

787×1092 毫米 16 开本 8 印张 203 千字

2015 年 1 月第 2 版 2015 年 1 月第 1 次印刷

定价:20.00 元

# 前 言

化工原理课程是自然科学领域的基础课向工程科学的专业课过渡的入门课程，是化工及其相关专业学生必修的一门重要的技术基础课。化工原理实验课程是随《化工原理》《流体力学与传热》及《传质与分离过程》等课程开出的一门重要的技术基础课程，其主要任务是通过实验教学，使学生巩固和加深对课堂理论教学内容的理解，同时得到化工实验技能的基本训练，加强学生的动手能力，强化工程观念。

本书内容包括两部分，第一部分为化工原理实验基础知识，主要介绍化工原理实验概要、实验数据及测量误差、化工实验参数的测量技术与仪表、实验数据的处理方法以及操作基本技能。第二部分为实验部分，包括化工原理各主要单元操作的实验项目，介绍了雷诺实验、流体流动能量转换实验、流体流动阻力测定实验、离心风机性能测定实验、恒压滤饼过滤实验、恒压板框过滤实验、气-汽换热管的给热系数测定实验、对流传热系数与导热系数测定实验、板式塔演示实验、萃取实验、洞道干燥实验、离心泵综合实验、填料塔吸收综合实验、强化对流传热综合设计实验、筛板塔精馏设计实验、筛板塔精馏综合实验 16 个实验项目的实验原理和实验操作方法。

本书全面详细介绍了化工原理各单元操作的实验过程，并结合综合性和设计性实验强化学生的工程意识。在本书的编写过程中，我们吸收大量的实际生产操作经验和实验教学经验，加入详细的实验操作基本技能和故障处理方法，加入和改进更多的设计性实验，以提高学生的综合技能。此外，计算机处理实验数据部分，也是工程基本技能之一。教材内容力求结构合理、通俗易懂、实验操作介绍详细。实验后有大量的问题引导学生思考。

本书由广东石油化工学院化工原理教学与实验中心梁亮主编，并与郑秋霞共同编写第二~七章，李燕、童汉清编写第一、第七章，吴景雄、梁忠城、梅树莲、史博、于湘、刘伟涛参与了编写。全书由李燕主审。

由于编者水平有限，书中难免存在不妥之处，衷心希望专家和读者提出宝贵意见，以便修改与完善。

# 目 录

## 第一篇 化工原理实验基础知识

第 1 章 化工原理实验概要 .....	( 3 )
1.1 化工原理实验特点 .....	( 3 )
1.2 实验教学目的 .....	( 3 )
1.3 实验教学内容 .....	( 3 )
1.4 实验教学的基本要求 .....	( 3 )
第 2 章 实验数据及测量误差 .....	( 5 )
2.1 实验数据的来源 .....	( 5 )
2.2 关于测量误差的讨论 .....	( 5 )
2.3 精确度、准确度及误差表示方法 .....	( 6 )
2.4 测量结果的正确读数和有效数字 .....	( 7 )
第 3 章 化工实验参数的测量技术与仪表 .....	( 9 )
3.1 流体压力的测量 .....	( 9 )
3.2 流量的测量 .....	( 11 )
3.3 温度的测量 .....	( 16 )
第 4 章 实验数据的处理方法 .....	( 19 )
4.1 实验数据列表法 .....	( 19 )
4.2 实验数据图示法 .....	( 19 )
4.3 数学模型法 .....	( 22 )
4.4 用计算机软件 Excel 处理化工原理实验数据 .....	( 25 )
第 5 章 基本操作技能 .....	( 32 )
5.1 化工单元设备基本操作技能 .....	( 32 )
5.2 仪器设备的使用 .....	( 37 )
5.3 实验异常现象、原因及处理方法 .....	( 39 )
5.4 实验安全基本知识 .....	( 41 )

## 第二篇 实验内容

第 6 章 验证、演示实验 .....	( 45 )
6.1 雷诺演示实验 .....	( 45 )
6.2 流体流动能量转换实验 .....	( 47 )
6.3 流体流动阻力测定实验 .....	( 51 )
6.4 离心风机性能测定实验 .....	( 54 )
6.5 恒压滤饼过滤实验 .....	( 57 )

6.6	恒压板框过滤实验 .....	( 61 )
6.7	气-汽换热管的给热系数测定实验 .....	( 65 )
6.8	对流传热系数与导热系数测定实验 .....	( 70 )
6.9	板式塔演示实验 .....	( 76 )
6.10	萃取实验 .....	( 78 )
6.11	洞道干燥实验 .....	( 84 )
<b>第7章</b>	<b>综合性及设计性实验 .....</b>	<b>( 89 )</b>
7.1	离心泵综合实验 .....	( 89 )
7.2	填料塔吸收综合实验 .....	( 94 )
7.3	强化对流传热综合设计实验 .....	(101)
7.4	筛板塔精馏设计实验 .....	(106)
7.5	筛板塔精馏综合实验 .....	(113)
附录一	空气的重要物理性质 .....	(117)
附录二	水的重要物理性质 .....	(117)
附录三	乙醇-水在常压下气液相平衡数据 .....	(118)
附录四	乙醇-正丙醇在常压下气液相平衡数据 .....	(118)
附录五	乙醇比定压热容及汽化潜热表 .....	(119)
附录六	正丙醇比定压热容及汽化潜热表 .....	(119)
附录七	苯甲酸-煤油-水物系萃取实验分配曲线数据 .....	(119)
附录八	$\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O}$ 物系相平衡常数 $m$ 与温度 $t$ 之间的关系 .....	(120)
附录九	乙醇-水溶液在标准温度下折光指数与质量分数的关系 .....	(121)
参考文献	.....	(122)

# **第一篇 化工原理实验 基础知识**





# 第1章 化工原理实验概要

## 1.1 化工原理实验特点

化工原理实验是深入学习化工过程及设备原理、将过程原理联系工程实际、掌握化工单元操作研究方法的重要课程，是培养和训练化工技术人才分析解决工程实际问题能力的重要环节。化工原理实验与课堂讲授、习题课和课程设计等教学环节构成一个有机的整体。化工原理实验属于工程实验范畴，具有典型的工程特点。单元操作按照其操作原理设置，工艺流程、操作条件和参数变量等都比较接近工业应用，因此，一个单元操作实验相当于化工生产中的一个基本过程，通过它能建立起一定的工程概念。随着实验的进行，会遇到大量的工程实际问题，对学生来说，可以在实验过程中更实际、更有效地学到更多的工程实验方面的原理和测试手段，可以看到复杂的真实设备与工艺过程同描述这一过程的数学模型之间的关系。学习和掌握化工原理的实验及其研究方法，是学生从理论学习到工程应用的一个重要实践过程。

## 1.2 实验教学目的

- ① 使学生巩固和强化对化工原理知识的认识和理解，深入了解单元设备和单元过程的特性；
- ② 培养学生的动手能力，使学生熟练掌握化工生产典型设备的操作技能；
- ③ 培养学生良好的操作习惯。

## 1.3 实验教学内容

化工原理实验课程内容包括：实验的基础知识、实验仿真和实验内容。实验基础知识主要讲授实验参数的测量、实验数据的误差与分析、实验数据(含有效数字)的处理、实验的基本操作技能等。

## 1.4 实验教学的基本要求

- ① 学会组织实验，以测试到必要的的数据，如设备特性参数的测定，阻力系数、传热系数、传质系数、过滤常数等；
- ② 掌握影响生产过程的操作参数，并懂得调节控制；
- ③ 掌握实验数据的处理方法(列表法、图示法、图解法)；
- ④ 实验预习：实验前学生必须认真阅读实验指导书，弄清实验目的、实验原理，根据实验的具体要求，讨论实验内容、步骤及应测数据，分析实验数据的测定方法，并预测实验

数据的变化规律。结合实验任务到实验室现场认真查看实验流程、设备结构及仪表的种类，了解实验操作过程和操作的注意事项，经过充分的预习，写出实验预习报告，方可进行实验；

⑤ 提交实验报告：实验报告是实验工作的全面总结和概括，它包括实验目的、实验原理、装置流程、操作方法和注意事项，还包括原始数据记录、数据处理、列表和作图、数据计算过程举例以及对实验结果进行分析讨论并作出结论。通过书写实验报告，使学生在实验数据的处理、作图、误差分析、问题归纳等方面得到全面提高。实验报告是实验者个人理解认识的再创造过程，而不是实验教科书的翻版，每一名实验者都应认真对待，独立完成。

# 第2章 实验数据及测量误差

## 2.1 实验数据的来源

### 2.1.1 实验所得的测量记录数据分类

实验所得的测量记录数据大致可以分为以下几类：

① 与实验结果或数据处理直接有关的数据。如传热试验的温度数据、装置的尺寸、流量、压力等；

② 与实验结果或数据处理间接有关的数据。如流体阻力试验中的水温测定，其目的在于由水温查出水的黏度和密度。传热实验的空气温度测定，其目的在于由温度查出空气的密度和比热容值等物性数据；

③ 从手册中可以查到的数据。如传热试验中空气的物性数据，精馏实验的各组分的物性数据，应尽可能利用手册中的现成数据以简化实验内容，但在应用时应核实数据来源是否可靠；

④ 指导实验操作的数据。如传热试验中的蒸汽压数据，精馏试验中的塔顶、塔底温度等。这些数据是控制和判断操作的稳定性或过程变化情况的依据，同时在数据处理时对某些试验点作出是否保留的判断依据；

⑤ 环境条件及其他参考数据。如记录试验条件下的室温、湿度、大气压等，用以检查环境条件对实验结果或过程的影响；如对水银温度计的校正、气体流量的计算等。

### 2.1.2 直接测量数据及间接测量数据

根据以上的数据获得方法可分为直接测量和间接测量两类：

#### (1) 直接测量

测量结果可直接用实验测试数据表示的称为直接测量。例如温度计测量温度，真空表测定真空度等；

#### (2) 间接测量

测量结果要借助直接测定的数据，运用某种公式计算处理而得的测量称为间接测量。例如管道截面积总是通过先测直径后计算得到的，在实验中大量数据都是经过间接测量得到的。

## 2.2 关于测量误差的讨论

### 2.2.1 误差的定义

误差是指实验测量值(包括直接和间接测量值)与真值(客观存在的准确值)之差。误差的大小，表示测量值相对于真值不符合的程度。

在任何一种测量中，无论所用仪器、设备多么精密，方法多么完善，实验者多么精心细致地操作和测量，误差仍会产生。因此，误差永远不等于零，误差的存在是绝对的。

### 2.2.2 误差的分类

实验误差根据误差的性质及产生的原因，可分为系统误差、随机误差和过失误差三种。

#### (1) 系统误差

由某些固定的因素所引起的误差称为系统误差。产生系统误差的原因有：

① 仪器和设备性能欠佳：测量刻度不准、设备零件制造不标准、安装不正确、使用前未经校正等；

② 试剂不纯：质量不符合要求；

③ 环境的变化：外界压力、温度、湿度和风速的变化等；

④ 测量方法因素：读数滞后或提前，读数偏高或偏低。

实验中若已知系统误差的来源应设法消除，若无法在实验中消除，实验前应测出其值的大小和规律，以便在数据处理时加以校正或用修正公式加以消除。

#### (2) 随机误差

由某些不易控制的因素所造成的误差称为随机误差，也称偶然误差。即已消除引起系统误差的一切因素，在同一条件下多次测量，所测数据仍在末一位或末二位数字上有差别，其差别数值和符号时大时小，时正时负，无固定大小和偏向。随机误差产生原因不明，因而无法控制和补偿。但是，随机误差服从统计规律，随着实验测量次数的增加，随机误差的算术平均值趋近于零，即平均值接近于真值。

#### (3) 过失误差

过失误差是一种明显不符实际的误差，主要由于实验人员粗心大意引起。如操作失误或读数错误、记录错误、计算错误等。这类误差应在整理数据时依据常用的准则加以剔除。

上述三种误差之间，系统误差和随机误差间并不存在绝对的界限，同样过失误差有时也难以和随机误差相区别，从而当作随机误差来处理。系统误差和过失误差是可以避免的，而随机误差是不可避免的，因此最好的实验结果应该只含有随机误差。

## 2.3 精确度、准确度及误差表示方法

在化工原理实验中常用的平均值有下列三种：

$$(1) \text{ 算术平均值} \quad \bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \cdots + x_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

$$(2) \text{ 几何平均值} \quad \bar{x}_{几} = \sqrt[n]{x_1 x_2 \cdots x_n}$$

$$(3) \text{ 均方根平均值} \quad \bar{x}_{均} = \sqrt{\frac{x_1^2 + x_2^2 + \cdots + x_n^2}{n}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n x_i^2}{n}}$$

平均值并不完全等于真值，只是可靠值，测量值的精密度指单次测量值与可靠值的偏差程度，测量结果的精密度一般常用下面的三种方法表示：

$$(1) \text{ 算术平均误差} \quad \delta = \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}|}{n}$$

$$(2) \text{ 相对误差} \quad E_r(x) \approx \frac{D(x)}{|\bar{x}|} = \frac{|x - \bar{x}|}{|\bar{x}|}$$

$$(3) \text{ 标准误差(均方误差)} \quad \delta = \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}|}{n}$$

$\delta$  越小,测量的可靠性就越大,测量的精确度就越高。标准误差对一组测量中的较大误差或较小误差“反应”比较灵敏,因此是表示精确度的较好方法,在近代科学中多采用标准误差。

### 2.3.1 对可靠程度的估计

实验过程中,对某些物理量的重复测量次数是很有限的,同时各次测量时对实验条件的控制也并非完全相同,所以在实验数据处理中可以采取下述简化方法来估计测定值的可靠程度。

若测量次数  $n > 15$ , 则  $x_i$  在  $\bar{x} \pm \delta$  的范围内,测量次数  $n > 5$ , 则  $x_i$  在  $\bar{x} \pm 1.73\delta$  的范围内。

测量的可靠程度也可由仪器的估量规格估计。如玻璃温度计一般取其最小分度值的  $1/10$  或  $1/5$  作为其精确度,1 个刻度(即分度值为  $1^\circ\text{C}$  的温度计)的精密度估读到  $\pm 0.2^\circ\text{C}$ ,  $1/10$  刻度的温度计可估读到  $\pm 0.02^\circ\text{C}$ 。因此,为使测量达到足够的精密度,应采取下列步骤:

- ① 按实验要求确定仪器的规格精度等级;
- ② 校正试验者和仪器、试剂等引起的系统误差;
- ③ 缩小测量中的偶然误差,对某物理量应测量多次,求出初步测量的精密度;
- ④ 进一步校正系统误差。

### 2.3.2 偶然误差的统计规律

#### (1) 偶然误差的正态分布

偶然误差是一种无规则变动的微小误差,其绝对值时大时小,但在相同条件下,对同一物理量进行重复测量,则发现偶然误差的大小和符号都受误差分布的概率规律所支配。这种规律称为误差定律。误差出现的概率呈正态分布,根据误差规律,不难看出偶然误差具有下列特点:

- ① 在一定的测量条件下,偶然误差的绝对值不会超过一定界限;
- ② 大小相等、符号相反的正负误差的数目近于相等,即概率相等;
- ③ 小数据的误差比大数据的误差出现的机会多,极大的正误差与极大的负误差的概率均非常小;
- ④ 以相对精度测量某一物理量时,其偶然误差的算术平均值随着测量次数的无限增加而趋于零。

#### (2) 可疑测量值的舍弃

在测量过程中,经常会发现个别数据很分散,如果保留它,则平均值很大,初学者倾向于舍弃这些数据,但任意舍弃不合心意的数据是不科学的。只有具有充分理由(如称量时砝码读数有错)时才能舍弃这一数据;如无充分理由,则应根据误差理论决定数据的舍弃。

## 2.4 测量结果的正确读数和有效数字

在实验过程中,如何正确记录测量数值是很重要的问题。

应该记录几位有效数字的问题完全是由测量数据的精密度决定的。在化工原理实验的数据记录处理过程中希望能注意这一点：所有数据应该能正确反映测量本身的精密度，计算过程中只留应有的精密度，保留过多的位数不仅浪费时间和精力，也易导致计算上的错误及引起对结果的误解。因为物理量的实值不仅反映出量的大小和数据的可靠程度，而且反映了仪器的可靠程度和实验方法的科学性。因此物理量的每一位都是有实际意义的，有效数字的位数就指明了测量的精确度，它包括测量中可靠的几位和最后估计的一位数。

有关有效数字的一些规则，在此只作简单的综述。

- ① 误差(绝对误差和相对误差)一般只有一位有效数字，最多不超过两位；
- ② 当有效数字确定后，其余数字一律舍弃，舍弃方法：四舍六入五成双。如 1.35 小数点后保留一位有效数字应为 1.4，1.25 小数点后保留一位有效数字后应为 1.2；
- ③ 任何一个物理量的数据，其有效数字的最后一位，在位数上应与误差的最后一位对齐。例如记成  $1.35 \pm 0.01$ ，则意义不清楚；
- ④ 为了明确地表示有效数字，一般常用指数标记法，这样，不但避免了与有效数字定义发生矛盾，也简化了数值的写法，便于计算；
- ⑤ 任何一次直接量度都要精确到仪器刻度的最小估读数，即记到第一位可疑数字；
- ⑥ 加减运算时，将各位实值列齐，对舍弃的可先按四舍六入五成双进位，后进行加减运算；
- ⑦ 在乘除运算时，所得的积或商的有效数字，应以各数中有效数字位数最少的数为标准；在对数运算中，对数尾部的位数与真数有效数字位数相等或多一位，如  $\lg 2.345 = 0.3701$ ；
- ⑧ 若第一位的数值等于或大于 8，则有效数字总数可以多算一位。例如 9.25 虽然实际上只有三位有效数字，但运算时可以看做 4 位；
- ⑨ 所有计算中，常数  $\pi$ 、 $e$  的数值及乘以 2、 $1/2$  等的有效数字可以认为是无限的，需要多少就可以取多少。

# 第3章 化工实验参数的测量技术与仪表

流体压力、流量、温度等是化工生产与科学实验中的主要测量参数，是分析生产、科学实验操作过程的重要信息。用来测量这些参数的仪表称为化工测量仪表。因此，必须对测量仪表有一个初步的了解。仪表的选用应符合过程要求和安全的需求，还要仪表选用和方法设计合理，节省投资，能获得准确的测量结果。因此，本章简单介绍流体压力、流量、温度等参数的测量仪表的基本原理、特性及选用原则。

## 3.1 流体压力的测量

流体压力测量可分成流体静压测量和流体总压测量。压力的表示方法可根据测量压力的基准不同分为两种：以绝对零压为基准称绝对压强，简称为绝压，是流体的真实压强。以大气压为基准可表示为表压强或真空度。如图3-1所示。

在化工生产和实验过程中所测压力的范围很广，要求的精度也各不相同，故使用的压力测量仪表的种类也很多。下面简要介绍常用的液柱式压差计、弹簧管压强计和电气式压力计。

### 3.1.1 液柱式压差计

液柱式压差计是根据流体静力学原理，把被测压差转换成液柱高度。这种压差计结构比较简单，精密度较高。既可用于测量流体的压力，又可用于测量流体的压差。液柱式压差计的基本形式有：U形管压差计、倒U形管压差计、单管式压差计、斜管压差计、U形管双指示液柱压差计等。但是，这种压差计测量范围小，不耐高温。

#### (1) U形管压差计

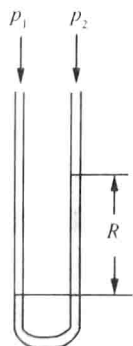


图3-2 U形管压差计

这是一种最常见的压差计，它是一根弯制而成的U形玻璃管，也可用两支玻璃管做成连通器形式。玻璃管内充入水、水银或其他液体作为指示液。

在使用前指示液液面处于同一水平面，当作用于U形压差计两端的压力不同时，管内一边液柱下降，而另一边则上升，直至达到新平衡状态。这时两个液面存在着一定的高度差R，如图3-2所示。

若被测介质是液体，平衡时压差为：

$$p_1 - p_2 = (\rho' - \rho)gR \quad (3-1)$$

若被测介质是气体，由于 $\rho' \gg \rho$ ，压差可表示为：

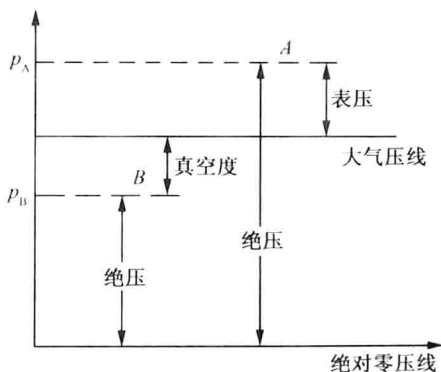


图3-1 绝压、表压、真空度关系

$$p_1 - p_2 = \rho' g R \quad (3-2)$$

式中  $\rho'$ ——指示液的密度,  $\text{kg}/\text{m}^3$ ;  
 $\rho$ ——被测流体的密度,  $\text{kg}/\text{m}^3$ 。

### (2) 倒 U 形管压差计

倒 U 形管压差计的优点是玻璃管内不需充入指示液而是以待测流体为指示液。使用前以待测流体赶净测压系统空气, 待倒 U 形管充满待测流体后调节倒 U 形管上部为空气, 这种压差计一般用于测量液体压差较小的场合。如果与倒 U 形管两端相通的待测流体的压力不同, 则在倒 U 形管的两根支管中待测流体上升的液柱高度也不同, 如图 3-3 所示。

其压差为:

$$p_1 - p_2 = (\rho - \rho_{\text{空}}) g R \approx \rho g R \quad (3-3)$$

### (3) 单管压差计

单管式压差计是 U 形管压差计的变形, 它用一只杯形容器代替 U 形管压差计中的一根管子, 如图 3-4 所示。由于杯的截面远大于玻璃管的截面, 所以在其两端不同压强作用下, 细管一边的液柱从平衡位置升高  $h_1$ , 杯形一边下降  $h_2$ 。根据等体积的原理,  $h_1 \gg h_2$ , 故  $h_2$  可忽略不计, 在读数时只要读一边液柱高度即可。

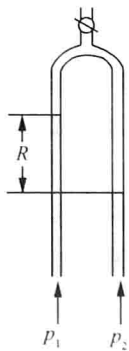


图 3-3 倒 U 形管压差计

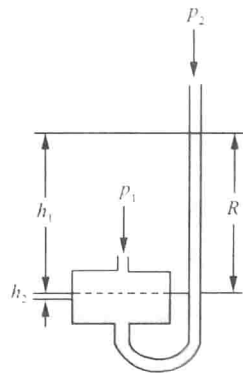


图 3-4 单管式压差计

$$\Delta p = h_1 \rho g \quad (3-4)$$

在传热实验中, 我们用其测定蒸汽的压力。

#### 3.1.2 弹簧管压强计

弹簧管压强计是根据弹性元件受压后产生弹性变形的原理制成的, 其结构如图 3-5 所示。这是目前生产及实验室中常用的一种压强计, 其表面小圆圈中的数字代表表的精度, 数值越小其精度越高, 一般常用 1.5 级或 1 级, 测量精度要求较高的可用 0.4 级以上的表。

#### 3.1.3 电气式压力计

为了适应现代化工业生产过程对压力测量信号进行远距离传送、显示、报警、检测与自动调节以及便于应用计算机技术等需要, 常常采用电气式压力计。电气式压力计是一种将压力值转换成电量的仪表。一般由压力传感器、测量电路和指示、记录装置组成。

压力传感器大多数仍以弹性元件作为感压元件。弹性元件在压力作用下的位移通过电气装置转变为某一电量, 再由相应的仪表(称二次仪表)将这一电量测出, 并以压力值



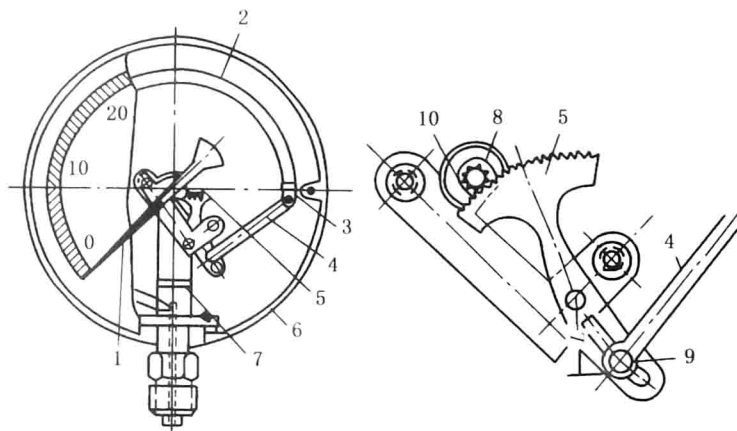


图 3-5 弹簧压强计

1—指针；2—弹簧管；3—接头；4—拉杆；5—扇形齿轮；6—壳体；  
7—基座；8—齿轮；9—铰链；10—游丝

表示出来。这类电气式压力计有电阻式、电感式、电容式、霍尔式、应变式和振弦式等。还有一类是利用某些物体的物理性质与压力有关而制成的电气式压力计，如压电晶体、压敏电阻等制成的压力传感器就属于此类压力计，该压力传感器本身可以产生远传电信号。

### 3.1.4 测压点的选择

测压点应选择受流体流动干扰最小的地方，如在管路上测压，测压点应选在离流体上游的弯头、阀门或其他障碍物 40~50 倍管内径的距离，使紊乱的流线经过该稳定段后在靠近壁面处的流线与管壁面平行，从而避免了动能对测量的影响。若条件所限，可设置整流板或整流管，以消除动能的影响。

## 3.2 流量的测量

流量是化工生产过程中的重要参数。流动介质的工艺流动、物料和能量衡算等问题与流量密不可分。因此，流量测量和控制化工生产与实验中是必不可少的。流量是指单位时间内流体流过管截面的量。若流量以体积表示，称为体积流量  $V$ ，以质量表示，称为质量流量  $w$ 。它们之间的关系为：

$$w = \rho V \quad (3-5)$$

式中  $\rho$ ——被测流体的密度， $\text{kg}/\text{m}^3$ 。

被测流体的密度随流体的状态而变。因此，以体积流量描述时，必须同时指明被测流体的压强和温度。

目前工业上的流量测量仪表按作用原理分为：面积式流量计、压差式流量计、流速式流量计和容积式流量计等。这四大类都有相应的仪表产品，它们的流量测量范围、精度等级、适用场合和有关特点见表 3-1。目前实验室所用的流量计主要有：测速管、孔板流量计、文丘里流量计、转子流量计、涡轮流量计、容积式流量计等。