

SHIYOU HUAGONG YONG BEN

石油化工用泵

刘纯厚 编

吉林科学技术出版社

前 言

输送液体的机械——泵，广泛应用在石油、化工、电力、轻工、农业、民用和国防等部门。它在国民经济各部门中占有重要地位。

目前，许多制造和使用泵的单位，由于有些工人缺乏有关系的理论和实践知识，管理不善，致使很多泵在使用中效率不高、运行不稳定、能源浪费严重，加之安装检修方法不当，降低了泵的使用寿命。为了满足广大从事机泵工作的工人、管理干部和科技人员技术学习的要求，编者在收集大量技术资料并总结工人操作、维修经验的基础上，编写了这本《石油化工用泵》，供从事这方面工作的同志在学习和实践工作中参考。

本书在编写过程中，得到魏安邦同志的热情帮助和支持，并对本书稿进行了校阅。吉林化学工业公司张万瑜同志也协助审阅书稿，提出了一些宝贵意见。书中全部插图是李祚杰同志绘制的。在此，向上述同志表示衷心感谢。

由于编者的理论水平有限，实践经验不足，诚恳希望广大读者对书中谬误之处给予批评指正。

编 者

于吉林化工学校

目 录

第一章 流体力学基础

第一节 流体静力学	1
一、单位制	1
二、密度和重度	3
三、压强	6
四、流体静力学方程及其应用	8
第二节 流体动力学	12
一、流体的粘度	12
二、流体的流量和流速	13
三、流体的流动类型	17
四、流体流动的连续性	20
五、流体动力学的基本方程——柏努利方程	21
第三节 流体在管路中流动时的阻力	29
一、流体在圆形直管中的摩擦阻力	30
二、局部阻力的计算	34
三、全程管路阻力损失的计算	37
四、串联管路和并联管路的阻力计算	42
五、管径的选择	44

第二章 离心泵的原理、构造及选型

第一节 离心泵的原理	47
一、离心泵的作用原理	47
二、离心泵的理论扬程和流量	48
三、泵的实际扬程和流量	56
四、离心泵的功率和效率	58
五、离心泵的吸入高度	61
六、离心泵的汽蚀和汽蚀余量	66

第二节 离心泵的特性曲线与操作特性	71
一、离心泵的特性曲线	71
二、输送粘液时离心泵的特性换算	75
三、离心泵的操作特性	78
第三节 离心泵的类型及构造	85
一、我国离心泵的型号	85
二、离心泵的构造	93
第四节 离心泵的相似与切割	100
一、相似的概念	100
二、离心泵的相似定律	102
三、离心泵的比转数 n_s	105
四、离心泵的比例定律	109
五、离心泵的切割定律	110
第五节 离心泵的选用	111
一、泵类型的确定	111
二、离心泵的选择方法和步骤	112

第三章 离心泵的安装、修理、防腐和节能

第一节 离心泵的安装和操作	122
一、机座的安装	122
二、离心泵的安装	128
三、原动机的安装	129
四、离心泵的试车和操作	137
第二节 离心泵的故障分析及排除措施	140
一、故障的种类	141
二、产生故障的原因	141
三、产生振动及噪音的原因	143
四、防止振动的措施	145
第三节 离心泵的修理	147
一、离心泵的拆卸	148
二、转子的修理	150
三、叶轮的修理	155

四、轴的检修	161
五、平衡装置的修理	165
六、轴向密封装置的检修	167
七、轴承的装配及修理	170
八、密封环的修理	174
第四节 离心泵的腐蚀、防腐和材料选择	175
一、泵的腐蚀	176
二、泵的防腐蚀措施	180
三、离心泵的材料	181
第五节 泵的节能	188
一、概述	188
二、泵系统的能耗分析	189
三、节能的途径	190
第四章 离心泵的机械密封	
第一节 机械密封的结构及原理	194
一、机械密封的结构	194
二、机械密封的原理	195
三、机械密封的优缺点	197
四、机械密封的分类	198
五、机械密封的冷却及润滑	202
第二节 机械密封的选用和安装修理	205
一、机械密封的选用	205
二、机械密封元件的常用材料	207
三、机械密封的安装	215
四、填料密封改装为机械密封	217
五、机械密封的维护和修理	218
第五章 其它类型泵	
第一节 往复泵	223
一、往复泵的原理和分类	223
二、往复泵的流量、压头、功率和效率	224
三、往复泵的主要零部件	227

第二节 转子泵与旋涡泵	229
一、齿轮泵	229
二、叶片泵	230
三、旋涡泵	231
四、各种类型泵的比较	232
附 录	235

第一章 流体力学基础

在石油化学工业生产中，所处理的原料和产品以及生产过程中的半成品多数是气体和液体。这些气体和液体它们都具有流动的共同特性，通常称为流体。研究流体静止、运动及其规律的学科，称为流体力学。流体力学包括流体静力学和流体动力学。

第一节 流体静力学

流体静力学是研究流体静止状态下所受各种力之间的关系及其规律。这些规律又与流体物理性质有关，如重度、密度和压强等。因此，必须首先掌握流体的物理性质。为了便于研究问题，先介绍表示物理量的单位制。

一、单 位 制

目前我国常用的单位制度有三种：绝对单位制、工程单位制和国际单位制。前两种单位制的区别在于绝对单位制度以长度、质量和时间作为基本量。工程单位制以长度、力（或重量）和时间作为基本量。

绝对单位制又分为两种单位制度，一种是CGS制，又称

物理单位制，它的三个基本量长度以“厘米”、质量以“克”、时间以“秒”表示。另一种是MKS制，它的三个基本量长度以“米”、质量以“公斤”（质）、时间以“秒”表示。这两种单位制的区别就是前一种用较小的单位表示，所以“物理学”中采用这种单位。

在工程技术中，以“力”作为基本单位比较方便。因此，一般都采用工程单位制。

绝对单位制和工程单位制的根本区别在于前一种是以质量作为基本量，重量（或力）就属于导出量。而后一种是以力（或重量）作为基本量，质量就属于导出量。质量和力之间的关系可以用牛顿第二定律表示，即：

$$F = m \cdot a \quad (1-1)$$

式中

F —— 作用于物体上的力；

m —— 物体的质量；

a —— 物体在作用力 F 方向上的加速度。

近年来，我国推广国际单位制（简称SI单位制度），它是MKS单位制的发展，所用的基本量除了MKS制已经采用的三个基本量以外，还加其它四个基本量，即电流单位——安培，热力学温度单位——开尔文，物质的量单位——摩尔，发光强度单位——坎德拉。另外两个辅助单位，即平面角单位——弧度，立体角单位——球面度。利用这七个基本量和二个辅助量就能够导出目前各种科学领域中所使用的一切单位。目前一些工程技术资料中尚未广泛采用，因此，本书仍然采用工程单位制。

以上介绍的三种单位制度的常用基本单位列于表1-1，便于比较。

表1-1 三种单位制比较

单 位 制	基 本 量	长 度	质 量	力	时 间
绝对单位制	CGS	厘 米	克	达 因	秒
	MKS	米	公 斤	牛 顿	秒
工 程 单 位 制		米	公斤 (力) 秒 ² /米	公斤(力)	秒
国际单位制(SI制)		米	公 斤	牛 顿	秒

二、密度和重度

单位体积内流体的质量称为密度，以 ρ 表示。若以 m 代表流体的质量， V 代表流体的体积，则

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1-2)$$

在绝对单位制中，密度 ρ 的单位为〔克/厘米³〕或〔公斤/米³〕，水在4℃时密度为1〔克/厘米³〕或10³〔公斤/米³〕。

在工程单位制中，由于质量不是基本单位，而力是基本单位，所以用工程单位制表示的密度：

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{G}{gV} \text{ [公斤 (力) 秒}^2\text{/米}^3\text{]} \quad (1-3)$$

式中

G ——重量〔公斤 (力)〕；

g ——重力加速度〔米/秒²〕；

V ——体积〔米³〕。

在国际单位制中，质量的单位是〔公斤〕，体积用〔米³〕

表示，则密度应为：

$$\rho = \frac{m}{V} \text{ [公斤/米}^3\text{]}$$

从以上两式可以看出，在工程单位制中，公斤是表示力的单位，是工程单位制中的基本单位。而在绝对单位制和国际单位制中，公斤（或千克）是表示质量的单位，是绝对单位制中的基本单位。前者是表示力大小的单位，后者是表示质量多少的单位。为了区别在用公斤表示质量时，在公斤后面括号内加上“质”字。在用公斤表示力时，可在后面括号内加“力”字。通常在工程单位制中，为了省事用公斤表示力时，后面也可不加“力”字。

在国际单位制中，力的单位是“牛顿”，即一公斤（质）的物体具有 1 米/秒^2 的加速度。所以采用国际单位制时，力的单位和质量的单位容易区别。

单位体积内流体的重量称为重度，以 γ 表示，若以 G 表示重量，以 V 表示体积，则：

$$\gamma = \frac{G}{V} \quad (1-4)$$

在工程单位制中，重量的单位是 [公斤]，体积的单位是 [米³]，故重度的单位是：

$$\gamma = \frac{G}{V} \quad \text{[公斤/米}^3\text{]}$$

重度在其它单位制中的表示方法列于表1-2。

工程计算中常以比重计算重度，所谓比重是任何物体的

重度 γ 与温度为 4°C 的纯水重度 $\gamma_{\text{水}}$ 之比。即 $s = \frac{\gamma}{\gamma_{\text{水}}}$ 。因为

表1-2 重量在各种单位制中的表示法

物理量 单位制	长度	质量	力	时间	密度	重量	压力	强度
绝对单位制	厘米	克 (质)	达 因	秒	克 (质) / 厘米 ³	克 (质) / 秒 ² 厘米 ²	克 (质) / 厘米 ² 秒 ²	
	米	公斤 (质)	牛 顿	秒	公斤 (质) / 米 ³	公斤 (质) / 秒 ² 米 ²	公斤 (质) / 米 ² 秒 ²	
工程单位制 (重力单位制)	米	公斤 (力) 秒 ² / 米	公斤 (力)	秒	公斤 (力) 秒 ² / 米 ³	公斤 (力) / 米 ³	公斤 (力) / 米 ²	
	米	公 斤	牛 顿	秒	公斤 / 米 ³	公斤 / 秒 ² 米 ²	牛顿 / 米 ²	

4℃的纯水重度为1000公斤/米³，所以 $s = \frac{\gamma}{1000}$ 。已知某物

体比重 s ，求重度可用下式计算

$$\gamma = 1000s \text{ [公斤/米}^3\text{]}$$

三、压 强

作用于流体单位面积上的力称为压强，以 p 表示。若以 F 表示流体作用的面积， P 表示垂直作用于这个面积上的力，则压强的关系式为：

$$p = \frac{P}{F} \quad (1-5)$$

在工程单位制中，压力 P 的单位为〔公斤〕，面积的单位为〔米²〕，所以压强的单位为〔公斤/米²〕。但是，这个单位在表示压强时数字太大，不方便，因此，工程上都以〔公斤/厘米²〕表示。1〔公斤/厘米²〕称为1个〔工程大气压〕。

$$\begin{aligned} 1 \text{ [工程大气压]} &= 10000 \text{ [公斤/米}^2\text{]} \\ &= 1 \text{ [公斤/厘米}^2\text{]} \end{aligned}$$

在低压系统用工程大气压表示压强单位还太大，一般采用〔毫米汞柱〕或〔毫米水柱〕表示：

$$\begin{aligned} 1 \text{ [工程大气压]} &= 735.5 \text{ [毫米汞柱]} = 10 \text{ [米水柱]} \\ &= 10000 \text{ [毫米水柱]} \end{aligned}$$

在海平面上的标准大气压称为〔物理大气压〕。

$$\begin{aligned} 1 \text{ [物理大气压]} &= 10330 \text{ [公斤/米}^2\text{]} = 1.033 \text{ [公} \\ &\quad \text{斤/厘米}^2\text{]} = 760 \text{ [毫米汞柱]} \\ &= 10.33 \text{ 米水柱} \end{aligned}$$

工程上测量压强的仪表称为压力表。压力表上的读数实

际是压强，习惯上称压力，一般说压力多大实质是表示压强多大。

地球表面上的大气对地球表面产生的作用力称为大气压。压力表所测出的压力是比大气压多出的压强值，即以一个物理大气压作为零点，所以也称为表压；表压也即是比大气压多的压强值，表压再加上大气压才是流体真正的压强值，称为绝对压强，它们之间的关系为：

$$\text{绝对压力} = \text{表压} + \text{大气压}$$

$$\text{表压} = \text{绝对压力} - \text{大气压}$$

大气压是随海拔高度（即大气层厚度）、大气的温度、湿度变化而改变。如北京为760〔毫米汞柱〕，兰州为740〔毫米汞柱〕，西藏地区海拔4500〔米〕，大气压约为450〔毫米汞柱〕。工程计算中如不作特殊说明，大气压的数值都指760〔毫米汞柱〕，即1个〔物理大气压〕而言。

若流体压强小于外界大气压时，则用真空表测量压强，表上的读数叫“真空度”。真空度也是以1个大气压作为零点，比大气压少的数值就称为真空度的大小。真空度是零，绝对压力为1物理大气压。真空度越大，绝对压力越小，真空度为760毫米汞柱，即绝对压力为零，完全真空。

$$\text{真空度} = \text{大气压} - \text{绝对压力}$$

$$\text{绝对压力} = \text{大气压} - \text{真空度}$$

表压、真空度和绝对压力之间的关系可用图1-1说明：

从图中可以直观看出，绝对

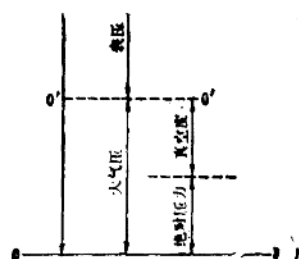


图1-1 表压、绝对压力和真空度示意图

压力是以完全真空即无气体压力时作为零点算起，表压是以大气压作为零点算起，也就是比大气压多的数值。真空度也是以大气压作为零点算起，比大气压少的数值。

四、流体静力学方程及其应用

1. 流体静力学方程

流体在静止状态时，受两个力的作用：一是重力；二是流体内部的静压力，这个静压力将随液柱高度的变化而改变。

如图 1-2 所示，容器中的液体是静止的。取一小单元正立方体进行研究，设单元立方体的每个侧面面积为 A ，流体处于静止状态时，作用于单元立方体上底的压力为 P_1 ，作用于下底的压力为 P_2 ，流体的重度为 γ ，单元立方体上底和下底到基准面（取容器底为基准面）的距离分别为 Z_1 和 Z_2 ，则单元立方体流体的重力： $W = \gamma A(Z_1 - Z_2)$ 。根据力的平衡，单元立方体处于静止时应为：

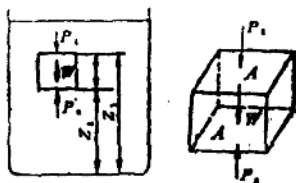


图 1-2 静止液体内部力的平衡

$$P_2 - P_1 = \gamma A(Z_1 - Z_2)$$

因为 $P_2/A = p_2$ ， $P_1/A = p_1$ 为流体的压强，则上式为：

$$p_2 - p_1 = \gamma(Z_1 - Z_2)$$

$$p_2 = p_1 + \gamma(Z_1 - Z_2) \quad (1-6)$$

或

$$\frac{p_2 - p_1}{\gamma} = Z_1 - Z_2$$

式(1-6)即为流体静力学方程，此式表明静止流体内部任

一深处的压强 p_2 ，等于其上任一处的压强 p_1 和两处垂直距离与流体重度 γ 的乘积之和。在静止流体内，若已知任一点的压强，就可以利用上述关系式求得另一点的压强。在上式中，若令 $Z_2 = Z_1$ ，则 $p_2 = p_1$ ，说明静止流体在同一水平面上各点压强相等，即等压面必然在同一水平面上。

2. 流体静力学方程的应用

流体静力学方程反映了静止流体所具有的规律性，这个规律在工业生产和科学实验中得到广泛应用，下面通过两个具体例子说明它的用途。

(1) U 形管压差计 如图1-3所示，在 U 形管压差计内装一种带颜色的液体 A （便于观察），称为指示液。指示液要与被测流体 B 不互溶，不起化学作用，其重度要大于被测流体重度。

这种 U 形管压差计常用来测量管道或容器设备内两点的压差，也可测量管道或容器设备内某一点与外界大气的压差，此种情况使 U 形管一端接到被测点上，另一端与大气相通即可。

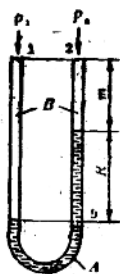


图1-3 U 形管压差计

测量时将 U 管的两端与被测的管道或设备两点连通，如果被测两点压强不等，如图1-3所示， $p_1 > p_2$ ，则指示液在 U 管内出现液面差 R ，根据 R 的大小便可计算出管道上被测两点的压差。

如果指示液 A 的重度为 γ_A ，被测流体 B 的重度为 γ_B ，从图中 a 、 b 两点看，这两点都连接着同一种流体，并且在同一水平面上，根据流体静力学方程可知， a 、 b 两点的静压强必然相等，然而1、2两点的静压强并不相等，这两点虽然都在同一水平面上，但是，连接着的流体却不是同一种静止流体，而是两种流体。所以必须通过 $p_0 = p_0$ 这个关系才能求出

$p_1 - p_2$ 的数值。

按 U 管的左侧来考虑, 根据流体静力学方程可得

$$p_0 = p_1 + \gamma_B(m + R)$$

同样, 按 U 管的右侧来考虑, 可得

$$p_0 = p_2 + \gamma_B m + \gamma_A R$$

因为

$$p_0 = p_0$$

所以

$$p_1 + \gamma_B(m + R) = p_2 + \gamma_B m + \gamma_A R$$

$$p_1 - p_2 = (\gamma_A - \gamma_B) R \quad (1-7)$$

由上式可以看出, $p_1 - p_2$ 大小只与读数 R 及两流体的重度差 $\gamma_A - \gamma_B$ 有关, 而与 U 管的粗细和 m 段的长短无关。

如果要测流体某一点压强时, U 管一端与被测流体连通, 另一端敞口通大气, 这时读数 R 值是这点压力与大气压的差值, 也即是表压强。

测量液体的压差时, 指示液可用汞或四氯化碳等重度大的液体。测量气体时, 只要这种气体不溶于水, 一般都用水作指示液, 在水中加一点染料, 便于观察。

测量气体的压差时, 由于气体的重度要比指示液的重度小的多, 即 $\gamma_A \gg \gamma_B$, 所以 $\gamma_A - \gamma_B \approx \gamma_A$, 则式(1-7)可以简化为:

$$p_1 - p_2 = \gamma_A R \quad (1-7')$$

U 管压差计由于受玻璃管的限制, 只适用于测量较小的压强或压强差, 但可得到比较精确的读数。要测量比较高的压强时, 一般采用弹簧压力表。

例 1-1 某反应罐用 U 管压差计测量罐内的气体压力, 如图 1-4 所示, 指示液

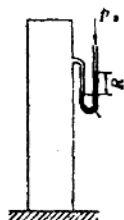


图 1-4 容器压力测定

为水银、测得 R 值为 755〔毫米汞柱〕, 求此反应罐内的压力值。

解根据式 (1-7')

$$p_1 - p_2 = \gamma_A R$$

敞口一端液面为大气压:

$$p_2 = 1 \text{〔物理大气压〕} = 10330 \text{〔公斤/米}^2\text{〕}$$

水银的重度 $\gamma_A = 13600 \text{〔公斤/米}^3\text{〕}$

$$\begin{aligned} \text{则 } p_1 &= p_2 + \gamma_A R \\ &= 10330 + 13600 \times 0.755 \\ &= 20330 \text{〔公斤/米}^2\text{〕} \\ &= 2.0330 \text{〔公斤/厘米}^2\text{〕} \text{ (绝对压力)} \end{aligned}$$

(2) 液面计 石油化工生产中经常要计量容器里的液体贮存量, 从而控制液面。测量液面的仪器称为液面计。一般常采用如图 1-5 所示的 U 形管压差液面计。它的原理很简单, 因为在 U 形管中指示液 a —— b 水平面 a 点和 b 点的压强是相等的, 指示液 h 的液柱高度就反映了容器内液面的高度, 可以按下式进行计算:

$$\begin{aligned} h\gamma_A &= h'\gamma_B \\ h' &= h \frac{\gamma_A}{\gamma_B} \end{aligned} \quad (1-8)$$

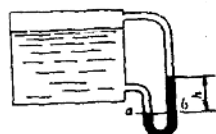


图1-5 用液柱压差计
测量液面的示意图

式中

γ_A ——指示液的重度〔公斤/米³〕;

γ_B ——容器内液体的重度〔公斤/米³〕;

h ——指示液的液柱高度〔米〕;

h' ——容器内液面到 a 点的高度〔米〕。

例 1-2 某贮罐里面装有煤油, U 管液面压差计的水银指示液的压差 $h = 0.78$ 〔米〕, 求贮罐里的液面高度 h' 。

解 查得煤油的重度 $\gamma_B = 780$ 〔公斤/米³〕, 水银的重