

石油化工工人技术培训教材

水力学和泵

(初级本)

阎洁编



烃加工出版社

石油化工工人技术培训教材（初级）

水 力 学 和 泵

阎 洁 编

江苏工业学院图书馆
藏书章

烃加工出版社

内 容 提 要

本书是石油储运工人初级工(1~3级工)技术培训试用教材。

全书包括水力学和泵两大部分,共分为五章。前三章叙述了液体的基本性质、水静力学和水动力学基础知识。后两章简要地介绍了离心泵和蒸汽往复泵的原理、性能、结构和操作。

书中注意基础理论的阐述以及实际工程中的应用。各章均有例题、思考题和习题,适于具有初中文化的读者自学。

1047.23

石油化工工人技术培训教材(初级)

水 力 学 和 泵

阎 洁 编

•
烃加工出版社出版

海丰印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

•
787×1092毫米32开本4⁷/₈印张 112千字 印数1—4,100册

1988年9月北京第1版 1988年9月北京第1次印刷

ISBN 7-80043-043-X/TQ·034 定价:1.20元

前 言

本书初稿是根据石油部1982年大连会议确定的石油储运工人初级技术培训教学计划和大纲的要求编写的。1983年3月在济南审稿会上，全国十个炼油厂有关同志提出了宝贵意见。之后，对初稿作了修改，并铅印在全国炼厂试用。经两年多试用后，于1985年11月在石家庄教材复审会上，本书得到确认。该书符合中国石化总公司制定的石油储运工人初级技术培训教学计划和大纲的要求。根据复审会意见，编者对全书又作了进一步修改，将原书名“流体力学和泵”改名为“水力学和泵”，将原书中的工程单位改为法定计量单位，并增加习题和实验部分。

因编者水平有限，欢迎广大读者予以批评指正。

编者

1986年3月

绪 言

我们周围世界的物质一般以三种形态（气态、液态和固态）存在，人们常说是气体、液体和固体。

固体有一定的形状。液体并没有固定的形状，且很容易流动，它的形状随容器而改变。水是液体，当它装在瓶子里或玻璃杯里时，形状就完全不同。气体和液体一样，也容易流动，如空气流动就形成了风。所以，人们常把液体和气体称做流体。

本书只讨论液体。在讨论液体之前，对液体的结构我们可做如下的描述：液体是由运动着的分子所组成的，分子之间有空隙。从微观上看，液体不连续，也不均匀。本书并不研究液体的分子运动，而是研究液体的宏观运动，即研究液体质点的运动。所谓质点，就是不考虑物体的大小，认为物体只是具有质量的点。这样，可以设想：液体质点是一个挨一个紧密排列，没有空隙的。因此，我们说液体是由无数液体质点组成的，且是连续的，均匀的。

水是最为常见的液体。因此，我们先研究水，即用实验和分析方法研究水的平衡和运动规律，并应用这些规律解决生产实际中的问题，这就是水力学的内容。当然，通过对水的研究，我们所得到的水的某些运动的基本规律，也完全适用于以水为代表的一般的液体。

另外，在石油炼厂中，原油、半成品油和成品油也都是液体，由于它们需要装卸运输、贮存保管，或是需要进行油

品调合等，就必须将油品从这里送到那里，或从一个设备送到另一设备。因此，液体输送也就是我们所要研究的问题。水力学基本知识是解决液体输送问题的理论根据。另一方面，生产上为了维持液体在管道或设备里连续地流动，以完成液体的输送任务，就要对液体作功。泵就是对液体作功的机械，所以，泵也是本书要研究的主要对象之一。

液体在管路中流动，管径是否合理；为了提高生产能力，泵的功率发挥是否还有潜力；如果泵的功率不够，又该怎么办；另外，为了维持正常生产，我们也需要不断地测量液体的压强、流速等等，这都是生产中常碰到的问题。要解决这些实际问题，也必须研究水力学的基本规律。

液体输送机械——泵的种类繁多，本书只讨论最普通、最典型的离心泵和蒸汽往复泵，简述泵的结构、特性、型号以及泵的操作、维护和故障排除等。

目 录

绪 言

第一章 液体的基本性质	(1)
第一节 密度和比容.....	(1)
一、密度.....	(1)
二、比容.....	(2)
第二节 相对密度.....	(4)
第三节 液体的压缩性与粘滞性.....	(11)
一、液体的压缩性.....	(11)
二、液体的粘滞性.....	(17)
思考题.....	(20)
习 题.....	(21)
第一章符号表.....	(21)
第二章 水静力学	(23)
第一节 压强.....	(23)
第二节 液体静力学基本方程式.....	(27)
第三节 液体静力学基本方程式的应用.....	(31)
一、压强的测量.....	(31)
二、密度计.....	(36)
思考题.....	(38)
习 题.....	(38)
第二章符号表.....	(40)
第三章 水动力学基础	(41)
第一节 流量和流速.....	(41)
一、流量.....	(41)

二、流速·····	(42)
第二节 稳定流动和不稳定流动·····	(46)
第三节 液体作稳定流动时的连续性方程式·····	(48)
第四节 液体作稳定流动时的能量平衡——柏努利 方程式·····	(50)
一、液体流动时具有的能量·····	(50)
二、理想液体流动时的能量平衡——柏努利方程式··	(55)
三、实际液体流动时的能量平衡·····	(58)
四、柏努利方程式的应用·····	(60)
思考题·····	(65)
习 题·····	(65)
第三章符号表·····	(66)
第四章 离心泵 ·····	(67)
第一节 离心泵的工作原理和结构·····	(67)
一、离心泵的工作原理·····	(67)
二、离心泵的结构·····	(69)
第二节 离心泵的性能·····	(78)
一、离心泵的主要性能·····	(78)
二、离心泵的特性曲线·····	(83)
三、离心泵的吸上高度·····	(85)
第三节 离心泵的型号·····	(93)
一、清水泵·····	(94)
二、油泵·····	(96 ¹)
第四节 离心泵的操作、维护与故障排除·····	(98)
一、离心泵的正常操作和维护·····	(98)
二、离心泵的并联操作·····	(100)
三、离心泵的故障排除·····	(100)
思考题·····	(102)
习 题·····	(103)

第四章符号表	(104)
第五章 往复泵	(105)
第一节 往复泵的工作原理、分类和特点	(105)
一、往复泵的工作原理	(105)
二、往复泵的分类和特点	(106)
第二节 往复泵的性能	(109)
一、往复泵的主要性能	(109)
二、往复泵的吸上高度	(113)
三、往复泵的型号	(114)
第三节 蒸汽往复泵及其主要部件	(115)
一、蒸汽往复泵	(115)
二、蒸汽往复泵的主要部件	(117)
第四节 蒸汽往复泵的操作、维护与故障排除	(121)
一、往复泵运转的特点	(121)
二、往复泵的操作	(121)
三、往复泵的故障排除	(123)
第五节 往复泵和离心泵的比较	(126)
思考题	(126)
习 题	(127)
第五章符号表	(128)
实验测定油品相对密度	(129)
附录	(132)
一、液体的密度	(132)
二、管子规格	(133)
三、泵的规格	(136)
参考文献	(147)

第一章 液体的基本性质

第一节 密度和比容

一、密度

从初中物理学里我们知道，一个物体不论是大到行星、太阳或其它恒星，也不论是小到分子、原子、电子，它总有本身的质量。

质量就是物体含有物质的量。在日常生活和生产劳动以及科学实验中，人们是很关心物体的质量的。比如说，某汽车行车100公里要消耗多少汽油；农民今年又生产了多少粮食；一种新型材料的出现，材料中各种成分的组成又是多少等等，这些都指的是质量，即物质多少而说的。

质量是物体本身的一种基本的、重要的属性。我们在研究水力学时，首先遇到的是液体的质量，即液体本身含有多少物质。液体有各种各样，而每种含有多少物质是各不相同的。为了说明这个差别，我们给出液体密度的概念。

液体的密度就是指单位体积液体所具有的质量。如果液体的体积是 V ，单位是米³，质量是 m ，单位是千克，根据定义我们得到液体的密度 ρ 的公式是

$$\rho = \frac{m}{V} \quad \text{千克/米}^3 \quad (1-1)$$

由公式(1-1)可以看出，当液体的体积一定的时候，即体积 V 的数值固定不变时，质量 m 数值越大，液体密度 ρ 的

数值也越大。相反，质量 m 数值越小，液体密度 ρ 的数值也越小。不同种类的液体，密度是不相同的。所以尽管体积相同，质量也不同。

任何一种液体密度数值的大小都和这种液体所处的条件有关。若液体处在不同的温度或压力下，液体密度的数值就不同。这是因为温度、压力会直接影响液体的体积。但由于压力的变化而引起的液体体积的变化是很小的（见本章第三节），因此这一体积的微小变化对液体密度数值的影响不大。在一般情况下，我们完全忽略压力的影响，可以认为压力与液体的密度无关。至于温度的变化而引起液体体积的变化则是应当考虑的。当温度升高时，液体分子间的距离增大，所以液体的体积随之增大，结果液体密度就减小（公式1—1）。反之，温度降低时，体积减小，密度就增大。如纯水在一个大气压，温度277K(4℃)°时，它的密度是1000千克/米³；温度升到293K(20℃)时，其密度是998千克/米³；温度升到373K(100℃)时，密度是958千克/米³。

尽管液体密度随温度而变化，且变化的数值一般不是很大，可是，经验指出，在某些情况下，不论是工程技术还是在科学研究中，必须考虑温度变化对液体密度的影响。因此，在讲液体密度时，一定要说明：密度是什么温度下的密度，不然，就要发生错误。

某些液体的密度数值见附录一。

二、比容

在生产中，如果我们知道了某一液体的密度和体积，根据公式(1—1)可以很容易地计算出该液体的质量。可是我们常常又会碰到另一类问题。就是知道液体的质量，求它的

• 见附录一

体积。比如，需要10吨汽油，应当用多少个标准油桶去装。为了解决这一类问题，我们就给出液体比容的概念。

液体的比容就是指单位质量液体所具有的体积。如果液体的质量是 m ，单位是千克，体积是 V ，单位是米³，根据定义我们得到液体的比容 v 的公式是

$$v = \frac{V}{m} \quad \text{米}^3/\text{千克} \quad (1-2)$$

比较公式(1-2)和(1-1)，很容易看到比容和密度互为倒数，即液体的比容和它的密度的乘积是1。

$$v = \frac{V}{m} = \frac{1}{\frac{m}{V}} = \frac{1}{\rho} \quad \text{米}^3/\text{千克} \quad (1-3)$$

例1-1 已知纯水在温度277K(4℃)，一个大气压下的密度是1000千克/米³，请用千克/升，克/厘米³表示之。

解：

$$\frac{1000 \text{ 千克}}{\text{米}^3} = \frac{1000 \text{ 千克}}{1000 \text{ 升}} = 1 \text{ 千克/升}$$

$$\frac{1000 \text{ 千克}}{\text{米}^3} = \frac{1000 \text{ 千克}}{1000 \text{ 升}} = \frac{1 \text{ 千克}}{\text{升}} = \frac{1000 \text{ 克}}{1000 \text{ 厘米}^3} = 1 \text{ 克/厘米}^3$$

例1-2 已知纯水在温度277K(4℃)，一个大气压下的密度是1000千克/米³，问纯水的比容是多少？

解：

由公式(1-3)

$$v = \frac{1}{\rho} = \frac{1}{1000} = 0.001 \text{ 米}^3/\text{千克}$$

第二节 相 对 密 度

上一节我们曾谈到了各种液体的密度是不相同的。并且，我们也能够利用公式（1—1）比较各种液体的密度。实际上，为了方便，我们常用相对密度这一概念来说明各种液体密度的相对大小。

液体的相对密度就是指液体的密度与277K（4℃）时纯水的密度之比。如果液体的密度是 ρ ，单位是千克/米³，纯水在277K（4℃）时的密度是 $\rho_{\text{水}}$ ，单位也是千克/米³，根据定义我们得到液体相对密度S的公式是

$$S = \frac{\rho}{\rho_{\text{水}}} \quad (1-4)$$

相对密度S值取决于液体的密度 ρ 和纯水在277K（4℃）时的密度 $\rho_{\text{水}}$ ， $\rho_{\text{水}}$ 是不变的常数，也就是用它做标准，从而比较各种液体的密度相对大小。既然水是常数，那么相对密度S值仅和液体密度 ρ 有关。在相同情况下，液体密度越大，相对密度也越大。另外，由于液体密度 ρ 与温度有关，所以，相对密度S值也与温度有关，其变化规律与密度随温度的变化规律相似。

液体的相对密度一般用密度计来测定。把密度计放在某液体中，即可从密度计上读出该液体的相对密度，但是必须要说明测定相对密度时的温度是多少，否则就没有意义（为什么）。

知道了某液体的相对密度S值，根据公式（1—4）我们可很容易地计算出该液体的密度，即将该液体的相对密度值乘以1000就是该液体的密度（因为 $\rho_{\text{水}}$ 等于1000千克/米³）。例如，在某一温度下，测得某液体的相对密度S值是0.750，那

么该液体的密度 $\rho = 1000 \times S = 1000 \times 0.750 = 750$ 千克/米³。

应当提醒注意的是相对密度 S 值是没有单位的。因为分子和分母的单位都是密度单位。

在石油炼厂中，对油品的相对密度，我们是这样规定的，即用 293K (20℃) 时油品的密度^{*}与 277K (4℃) 纯水的密度之比，作为油品的相对密度。用公式表示是

$$d_{277}^{293} = \frac{\rho_{293}}{\rho_{\text{水}}} \quad (1-5)$$

式中 ρ_{293} 是油品在 293K (20℃) 时的密度； $\rho_{\text{水}}$ 是纯水在 277K (4℃) 时的密度。 $\rho_{\text{水}}$ 等于 1000 千克/米³，所以油品在 293K (20℃) 时的密度， $\rho_{293} = \rho_{\text{水}} \cdot d_{277}^{293} = 1000 \times d_{277}^{293}$ 千克/米³。例如，某油品在 293K (20℃) 时测得的相对密度 d_{277}^{293} 是 0.630，那么该油品在此温度下的密度 $\rho_{293} = 1000 \times 0.630 = 630$ 千克/米³。

然而，在实际生产中，我们测得的油品相对密度，并不正好是 293K (20℃) 时的相对密度，而是在其它任意温度下测得的相对密度（视密度）。为了便于比较油品的相对密度，或是做油品质量计算，必须把油品任意温度下的相对密度（视密度）换算成油品在 293K (20℃) 时的相对密度。否则，我们无法比较油品的相对密度（为什么），也就无法计算油品的质量。

表 1—1 给出了石油在任意温度下的相对密度（视密度）与其在 293K (20℃) 时的密度 ρ_{293} 间的对应关系。注意，后者指的是石油密度 ρ_{293} ，而不是石油的相对密度 d_{277}^{293} 。如在 323K (50℃) 时测得某石油的相对密度（视密度）是

• 293K (20℃) 油品的密度称标准密度。

0.8030, 从表1-1可查得该石油在293K (20℃) 时的密度 ρ_{293} 是0.8234克/厘米³, 或823.4千克/米³。

如果测得油品的温度以及相对密度(视密度)值超出表1-1范围, 可自“石油产品密度测定法及计量换算表”中查找。

知道了石油的密度, 可很容易地计算石油的质量。

关于石油质量的计算, 我们有特殊的规定, 其质量的计算公式如下:

$$m = \rho_{293} \cdot V_{293} \cdot F \quad \text{千克} \quad (1-6)$$

式中 m 是石油的质量, 单位是千克; ρ_{293} 是石油在293K (20℃) 时的密度, 可由表1-1查得, 将单位换成千克/米³; V_{293} 是石油在293K (20℃) 时的体积, 单位是米³; F 是系数。

在生产中, 测定石油体积的时候, 并不一定正好是293K (20℃), 而是在其它任意温度下测定的。这样, 我们得到的石油体积就不是 V_{293} 。我们只有将石油在任意温度下的体积 V_K , 换算到293K (20℃) 时的体积 V_{293} , 才能应用公式 (1-6) 计算石油的质量。将石油体积 V_K 换算到 V_{293} 的方法是: 利用任意温度和该石油在293K (20℃) 时的密度, 从表1-2先查得石油体积系数 K , 然后, 用下式计算

$$V_{293} = K \cdot V_K \quad \text{米}^3 \quad (1-7)$$

V_K 是石油在任意温度下的体积, 单位是米³。例如, 某石油在314K (41℃) 时的体积是100米³, 在293K (20℃) 时的密度是0.8050。那么, 由表1-2查得 K 是0.9810, 代入式 (1-7), 于是, 石油在293K (20℃) 时的体积 $V_{293} = K \cdot V_K$

0.8000~0.8090
20.0~65.0℃

表 1-1 石油相对密度换算表

20℃密度, 克/厘米 ³	视密度									
	0.8000	0.8010	0.8020	0.8030	0.8040	0.8050	0.8060	0.8070	0.8080	0.8090
温度, °C										
20.0	0.8000	0.8010	0.8020	0.8030	0.8040	0.8050	0.8060	0.8070	0.8080	0.8090
21.0	0.8007	0.8017	0.8027	0.8037	0.8047	0.8057	0.8067	0.8077	0.8087	0.8097
22.0	0.8014	0.8024	0.8034	0.8044	0.8054	0.8064	0.8074	0.8084	0.8094	0.8104
23.0	0.8021	0.8031	0.8041	0.8051	0.8061	0.8071	0.8081	0.8091	0.8101	0.8111
24.0	0.8028	0.8038	0.8048	0.8058	0.8068	0.8078	0.8088	0.8098	0.8108	0.8118
25.0	0.8035	0.8045	0.8055	0.8065	0.8075	0.8085	0.8095	0.8105	0.8115	0.8125
26.0	0.8042	0.8052	0.8062	0.8072	0.8082	0.8092	0.8102	0.8112	0.8122	0.8132
27.0	0.8049	0.8059	0.8069	0.8079	0.8089	0.8099	0.8109	0.8119	0.8129	0.8139
28.0	0.8056	0.8066	0.8076	0.8086	0.8096	0.8106	0.8116	0.8126	0.8136	0.8145
29.0	0.8063	0.8073	0.8083	0.8093	0.8103	0.8113	0.8123	0.8133	0.8142	0.8152
30.0	0.8070	0.8080	0.8090	0.8100	0.8110	0.8120	0.8130	0.8139	0.8149	0.8159
31.0	0.8077	0.8087	0.8097	0.8107	0.8117	0.8127	0.8136	0.8146	0.8156	0.8166

20℃密度, 克/厘米 ³	视 密 度	0.8000	0.8010	0.8020	0.8030	0.8040	0.8050	0.8060	0.8070	0.8080	0.8090
温度, °C											
32.0		0.8084	0.8094	0.8104	0.8114	0.8124	0.8133	0.8143	0.8153	0.8163	0.8173
33.0		0.8091	0.8101	0.8111	0.8121	0.8130	0.8140	0.8150	0.8160	0.8170	0.8179
34.0		0.8098	0.8108	0.8118	0.8127	0.8137	0.8147	0.8157	0.8167	0.8176	0.8186
35.0		0.8105	0.8115	0.8124	0.8134	0.8144	0.8154	0.8164	0.8173	0.8183	0.8193
36.0		0.8112	0.8121	0.8131	0.8141	0.8151	0.8161	0.8170	0.8180	0.8190	0.8200
37.0		0.8118	0.8128	0.8138	0.8148	0.8158	0.8167	0.8177	0.8187	0.8197	0.8206
38.0		0.8125	0.8135	0.8145	0.8155	0.8164	0.8174	0.8184	0.8194	0.8203	0.8213
39.0		0.8132	0.8142	0.8152	0.8161	0.8171	0.8181	0.8191	0.8200	0.8210	0.8220
40.0		0.8139	0.8149	0.8158	0.8168	0.8178	0.8188	0.8197	0.8207	0.8217	0.8226
41.0		0.8146	0.8155	0.8165	0.8175	0.8184	0.8194	0.8204	0.8214	0.8223	0.8233
42.0		0.8152	0.8162	0.8172	0.8181	0.8191	0.8201	0.8211	0.8220	0.8230	0.8240
43.0		0.8159	0.8169	0.8178	0.8188	0.8198	0.8208	0.8217	0.8227	0.8237	0.8246