

石油工人初级技术培训教材

石油加工过程及设备

(试用本)

石油七厂 郑纯明 编



石油工业出版社

TE62

11

3

石油工人初级技术培训教材

石油加工过程及设备

(试用本)

石油七厂 郑纯明 编

154/165



石油工业出版社

B181220

内 容 提 要

本书结合我国炼油厂的生产实际,着重介绍流体力学、传热原理、传质过程的基本理论,以及泵、换热器、管式加热炉、塔器等典型设备结构。各章都附有习题及思考题。

本书可作为石油工人初级技术培训试用教材,也可供炼油工阅读。

石油工人初级技术培训教材

石油加工过程及设备

(试 用 本)

石油七厂 郑纯明 编

•

石油工业出版社出版发行

(北京安定门外外馆东后街甲36号)

北京妙峰山印刷厂排版印刷

新华书店北京发行所发行

•

787×1092毫米 32开本 97/8印张 1插页 216千字 印1-10,000

1984年10月北京第1版 1984年10月北京第1次印刷

书号: 15037·2478 定价: 1.05元

前 言

本书是根据石油部劳资司一九八三年制订的炼油工技术培训教学大纲编写的，可作为石油工人初级技术培训试用教材，也可供炼油工阅读。

本书以炼油厂普遍应用的单元操作为基础，着重讲述流体力学、传热原理、传质过程的基本理论，介绍泵、换热器、管式加热炉、塔器等典型设备的结构，选编了简单的应用例题，示范演算方法；提供了有关章节的习题，各章都附有复习思考题。使用此教材时，各单位可根据自己实际情况讲授，其中某些章节可作为参考材料。

编写本书过程中，石油五厂的常国彬、石油二厂的王守全、兰州炼油厂的王兰芳等同志对教材的结构、内容的深度和广度都提出宝贵意见；同时并承蒙王同春同志的支持和帮助，在此一并表示感谢。

由于时间仓促，编者水平所限，书中必有不妥之处和错误，恳请读者批评指正。

编 者

一九八三年七月

目 录

绪 论.....	1
第一章 流体力学.....	6
第一节 流体的主要物理性质.....	6
第二节 流体静力学.....	15
第三节 流体动力学.....	21
第四节 流体阻力.....	35
第五节 管路.....	52
第二章 泵.....	65
第一节 离心泵.....	65
第二节 往复泵.....	97
第三节 其它类型的泵.....	102
第三章 传热原理基础.....	108
第一节 物质的热性质.....	109
第二节 传热的基本方式.....	113
第三节 稳定传热.....	114
第四节 对流传热.....	121
第五节 通过间壁的传热.....	124
第四章 换热设备.....	141
第一节 换热器的类型和结构性能指标.....	142
第二节 管壳式换热器.....	143
第三节 空气冷却器.....	154
第四节 其它类型换热器.....	160

第五节	换热器中传热过程的强化	167
第六节	换热流程安排的一般原则	169
第五章	管式加热炉	173
第一节	管式炉的类型与结构	174
第二节	燃料及燃烧过程	186
第三节	辐射传热的基本概念及管式加热炉 传热特点	195
第四节	加热炉的热平衡	199
第五节	管式加热炉的主要工艺指标和结构 参数	204
第六章	精馏基础知识	213
第一节	基本概念	214
第二节	汽化与冷凝	221
第三节	精馏原理	223
第七章	塔设备	230
第一节	板式塔的一般构造	232
第二节	板式塔的内部结构与性能	234
第三节	板式塔的分类	239
第四节	板式塔的工艺指标及结构尺寸	248
第五节	炼油厂分馏塔的分馏特点	254
第八章	吸收和解吸	260
第一节	吸收和解吸的基本原理	261
第二节	吸收塔	264
第九章	溶剂抽提	271
第一节	抽提的基本原理和影响过程的因素	272
第二节	液-液抽提设备	276
第十章	冷冻	282

第一节 冷冻过程的基本原理	283
第二节 冷冻流程与设备	285
参考文献	290
附录	291
一、常用外文字母表	291
二、一般常用计量单位及其换算表	292
三、比重换算表	297
四、温度校正系数	298
五、水的物理参数	299
六、水、煤气管规格	300
七、国产无缝钢管规格	300
八、常用物质的导热系数	301
九、原油的结垢热阻经验数据	301
十、结垢热阻的经验值	302
十一、常用溶剂的主要性质	304
十二、常用冷冻剂的物理性质	304
十三、冷冻盐水的冷冻温度与其浓度关系	305
十四、Y型油泵性能表	306
十五、水蒸汽焓-熵图	308
十六、石油馏分热焓图	309

绪 论

一、本课程的性质、内容和任务

石油是一种重要能源和石油化工原料，在实现我国的四个现代化中具有非常突出的作用，石油炼制则是整个石油工业有机的一环。从地下开采出的石油，未经加工前通称原油。作为炼油厂原料的原油经过诸如常减压蒸馏、催化裂化、加氢精制、铂铈重整等一系列工艺过程的加工，可以得到各种燃料油、润滑油、石蜡、沥青等几百乃至几千种产品。这些生产装置由于各自使用的物料性质的差异和对产品要求不同，采用了相应的工艺流程。虽然炼油工艺种类繁多，但不难看出，它们都是由一些应用较广、而为数不多的基本生产过程所组成的。所以，可把任一炼油工艺都看成是由若干单元操作技术来处理原料和产品的总和。

所谓单元操作是指在各种石油化工生产过程中，普遍遵循着共同的物理学定律，所采用的设备也相似并具有相同作用的那些基本操作。例如，液体的输送，在石油化工工业中需要，在其它化工生产中也需。而在输送各种液体的操作中，共同遵循着流体力学的规律，都使用泵进行工作，其目的也都是把液体从一处送到另一处，所以说液体输送是石油化工生产中应用最广泛的单元操作。

《炼油过程与设备》是根据单元操作的概念开设的探讨工艺各个基本生产过程的原理、炼油设备的工艺结构和性能等基本理论知识的课程，而不是专门研究某种石油产品生产过程的专业工艺课。

本课程包括了一些应用较为广泛的单元操作，如液体输送、传热、蒸馏、吸收、抽提、冷冻等。

在石油炼制过程中，所采用的单元操作是互相有联系的。依据各单元操作遵循的基本规律，可把它们归纳为如下四大类。

1. 流体动力过程

这个过程包括遵循流体力学原理的单元操作。如流体输送是指石油及其产品、溶剂、水、蒸汽等流体，通过管路由甲地输送到乙地（或由低处输送到高处）的过程。所用的设备有泵、风机、管线、管件和阀件等。

2. 热量传递过程

它包括传热、蒸发、冷冻等。此过程是通过介质温差，将高温流体的温度降低，使低温流体温度升高；有时通过这种热交换伴随着还有介质的相态变化。除了这种冷、热载体的热交换外，还有通过热源来提高流体温度的。采用的设备有换热器、冷凝冷却器和加热炉。

3. 质量传递过程

在这类过程中，某种物质的质量从一个相（液态或气态）转移到另一相（气态或液态）。这类过程包括遵循传质理论的操作，如蒸馏、吸收、抽提等。使用的设备是根据工艺需要所采用的塔器等。

4. 热力过程

它包括遵循热力学定律的操作。如冷冻是以液氨作为冷冻剂，利用氨沸点低（ -33.4°C ）在低温能吸热、汽化潜热很大的性质，使氨在蒸发器里减压蒸发而与原料油和溶剂换热，从而降低原料油和溶剂的温度的工艺过程。配置的设备有冷冻机、冷凝器、蒸发器、膨胀阀等。

学习本课程的目的：掌握炼油化工过程的基本原理和概念；了解各单元操作的基本规律；熟悉典型设备的工作原理和结构性能；掌握上述几个过程和典型设备的简单计算方法；探讨强化过程及改造设备的途径，以提高产品的质量和收率、降低成本、改善劳动条件和提高劳动生产率。

二、物理量的单位制

表示一个物理量的大小，不仅要列出数字，还应注明这个数字所计量的单位。例如，某设备的长度是一个物理量，它的长度可用10米来表示，如果只用数字10就不能说明长度的大小。

物理量的种类繁多，为了清楚地表示各种物理量的单位，人为地把它划分成基本量与导出量两种。指定几个彼此独立的简单物理量为基本量，并给每个基本量规定出一个单位，称为基本单位；其余物理量都可以依借物理关系从基本量导出，称为导出量，导出量的单位就是导出单位。例如，以长度和时间为基本量，基本单位分别定为米和秒，则速度便是个导出量，它的单位米/秒就是导出单位。至于选定哪几个物理量作基本量，给基本量规定什么单位，完全是以方便为原则。由于基本量选择不同，或对基本量所规定的单位不同，便产生了不同的单位制度。常用的单位制有以下几种：

1. 绝对单位制

绝对单位制是以长度、质量和时间的单位作基本单位，力的单位则属导出单位。根据基本单位的不同又分为：

(1) 厘米·克·秒制 简称CGS制，又称物理单位制。在此制中，长度单位是厘米，质量单位是克，时间单位是秒。

(2)米·千克·秒制 简称MKS制, 又称实用单位制。在此制中, 长度单位是米, 质量单位是千克, 时间单位是秒。

2. 工程单位制

简称MKfS制, 又称重力单位制。在此单位制中, 长度、力和时间的单位作基本单位, 质量的单位则属于导出单位。

3. 国际单位制

简称SI制, 是国际计量局吸取了米制的优点制定的。目的是为了消除混乱, 便于各地的技术交流。它有七个基本单位: 长度, 米; 质量, 千克; 时间, 秒; 电流强度, 安培; 热力学温度, 开尔文; 物质的量, 摩尔; 发光强度, 坎德拉。其它物理量均为导出单位。

常见的几种单位制所用的力学基本量和基本单位如下表所示

单 位 制 \ 基 本 量	长 度	质 量	力	时 间
绝对单位制				
物理单位制(CGS制)	厘 米	克	/	秒
实用单位制(MKS制)	米	千 克	/	秒
工程单位制				
重力单位制(MKfS制)	米	/	公 斤	秒
国际单位制(SI制)	米	千 克	/	秒

上面介绍的三种单位制之间可以互相换算, 但须注意在计算同一算题时, 所有数据必须采用同一种单位制。

本书以千克为质量单位, 代替kg、千克(质)、公斤

(质)等名称，以公斤表示力的单位，代替kgf、公斤(力)、千克(力)等名称。这样区分后，可避免在千克与公斤后因未加附注而引起混淆。另外此教材以工程单位制为基本使用单位，其它两种单位制仅作附带介绍和换算应用。各物理量单位换算关系见附录。

第一章 流体力学

物体呈气态和液态时无一定形状，可以自由流动，人们通常把气体和液体总称为流体。炼油及石油化工厂所处理的物料（包括原料、半成品及产品等），绝大多数是流体。为了将流体原料制成半成品、成品，工艺上常需把流体从一个设备转送到另一设备，或从一套生产装置送到另一套生产装置。因此，流体输送是石油化工生产中必不可少的操作。

此外，在现代石油化工生产的一系列操作中，无论是传热、传质或伴有的化学反应，一般都是在流体流动的情况下进行的，流体流动的状态对这些过程有很大的影响。因此，流体输送是石油化工生产中的一个基本操作，同时也是其它工艺过程的基础。

流体力学基本知识是解决流体输送问题的理论根据，也是今后学习其它石油化工过程必要的基础知识。

本章主要讨论流体静止平衡的规律、流体在流动时的基本特性、流体流动时阻力产生的原因及其影响等问题。

第一节 流体的主要物理性质

为了便于研究流体处于静止和流动状态下的规律性，首先必须了解与之相关的流体的基本物理性质。

一、密度和重度

密度 单位体积流体的质量称为流体的密度。如以 m 表示流体的质量， V 表示流体的体积， ρ 表示流体的密度，则

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

在MKfS制中，质量 m 的单位公斤·秒²/米，是根据牛顿第二定律 $m = \frac{G_{\text{公斤}}}{g_{\text{米/秒}^2}}$ 导出的；体积 V 的单位是米³，所以密度 ρ 的单位为公斤·秒²/米⁴。

重度 单位体积流体的重量称为流体的重度。如以 G 表示流体的重量， V 表示流体的体积， γ 表示流体的重度，则

$$\gamma = \frac{G}{V} \quad (1-2)$$

在MKfS制中，重量 G 的单位为公斤，体积的单位为米³，则重度的单位为公斤/米³。

密度与重度的关系可依据流体的重量等于质量乘以重力加速度导出来。已知

$$G = mg \quad (1-3)$$

将式(1-3)的等号两端除以流体的体积可得

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

$$\text{则} \quad \gamma = \rho g \quad \text{或} \quad \rho = \frac{\gamma}{g} \quad (1-5)$$

由式(1-5)可知，流体的重度等于流体的密度乘以重力加速度。

流体的重度、密度的单位和数值的大小与所采用的单位制有关。在不同的单位制中，密度的单位和数值都不同，其彼此之间的换算关系可查本书附录二(7)。

目前，在一些石油化工手册中，只能查到流体的密度，若想知道重度值，则须由式(1-5)计算求得。

已知在MKS制中1千克质量的物体所受的地心引力，在

MKfS制中为1公斤重量。虽然质量与重量是两个截然不同的概念（质量是物质质量的多少，重量是因地球吸引而受到重力的大小），但是事实表明，当质量（或密度）越大时，重量（或重度）也必然越大。这是因为在地球任何地方，物体的质量（或密度）是一样的，而重量（或重度）则因所处的地球纬度和海拔高度的不同，而略有差别，不过在通常情况下这种差别很小，是可忽略的。所以，在实际生产上忽略了这很小的差别，以重量来计算物质的多少。一般认为MKfS制中重量是多少，在MKS制中质量也是多少。因此当将CGS制中密度克/厘米³换算成MKfS制中重度公斤/米³时，只须将密度的数值乘1000即可。

二、比重与比重指数

比重是流体在 $t^{\circ}\text{C}$ 时的重度与水在 4°C 或 15.6°C 时重度之比值，也可以说是流体在 $t^{\circ}\text{C}$ 时的密度与水在 4°C 或 15.6°C 时密度之比值，以 d_4^t 和 $d_{15.6}^t$ 表示，即

$$d_4^t = \frac{\gamma_{\text{流}}^t}{\gamma_{\text{水}}^4} = \frac{\rho_{\text{流}}^t}{\rho_{\text{水}}^4} \quad (1-6)$$

$$d_{15.6}^t = \frac{\gamma_{\text{流}}^t}{\gamma_{\text{水}}^{15.6}} = \frac{\rho_{\text{流}}^t}{\rho_{\text{水}}^{15.6}} \quad (1-7)$$

式中 $\gamma_{\text{流}}^t$ 、 $\rho_{\text{流}}^t$ —— 流体在温度 $t^{\circ}\text{C}$ 时的重度、密度，

$\gamma_{\text{水}}^4$ 、 $\rho_{\text{水}}^4$ —— 4°C 时水的重度、密度，

$\gamma_{\text{水}}^{15.6}$ 、 $\rho_{\text{水}}^{15.6}$ —— 15.6°C 时水的重度、密度。

比重既然是两个单位相同物理量的比值，所以，它是无单位的纯粹数。

由于水在 4°C 重度为1000公斤/米³，在 15.6°C 时的重度

为999.03公斤/米³，二者数值十分接近，所以在工程计算中，可忽略 $d_{4}^{15.6}$ 与 $d_{15.6}^{15.6}$ 这两者的差别。当给出比重为 $d_{15.6}^{15.6}$ ，而强调必须用 d_{4}^{20} 时，则可按照以下的两者的换算公式进行校正：

$$d_{15.6}^{15.6} = d_{4}^{20} + \text{校正值} \quad (1-8)$$

式中校正值可由附录三表查得。

实践证明：液体的比重、重度和密度在一般情况下随温度的升高而降低，石油的比重随温度变化的规律，可由图1-1查得，也可以按下式计算之。

$$d_{4}^{20} = d_{4}^{t} + \gamma (t - 20) \quad (1-9)$$

式中 d_{4}^{20} ——20°C时油品的比重；

d_{4}^{t} ——t°C时油品的比重；

γ ——温度校正系数，可由附录四查得；

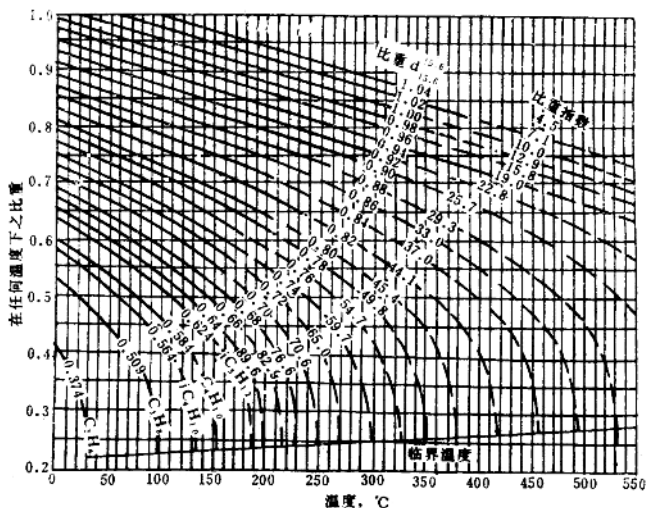


图 1-1 石油比重与温度的关系图

t ——温度， $^{\circ}\text{C}$ 。

【例题1-1】 已知某油品温度 15.6°C 时的比重为0.92，试求该油品在 120°C 时的重度和密度。

解 由图1-1查得此油品在 120°C 时的比重 $d_{15.6}^{120} \approx 0.86$ 。

根据 $\gamma = 1000d$

故该油品在 120°C 时的重度

$$\gamma = 1000 \times 0.86 = 860 \text{ (公斤/米}^3\text{)}$$

该油品在 120°C 时密度

$$\rho = \frac{\gamma}{g} = \frac{860}{9.81} = 87.66 \text{ (公斤} \cdot \text{秒}^2/\text{米}^4\text{)}$$

比重指数是衡量石油及其产品轻重的物理量，其数值可根据它与 15.6°C 时油品比重的关系式来计算。

$$\text{比重指数 (API)} = \frac{141.5}{d_{15.6}^{15.6}} - 131.5 \quad (1-10)$$

三、比容

单位重量流体的体积称为流体的比容。如以 V 表示流体的体积， G 表示流体的重量， v 表示流体的比容，则

$$v = \frac{V}{G} = \frac{1}{\gamma} \quad (1-11)$$

显然，比容就是重度的倒数，比容的单位也是重度单位的倒数。

四、压强

1. 定义

流体垂直作用物体表面的力叫压力，每单位面上的压力，称为压力强度，简称压强。换句话说，一个面上的压强等于所受压力（垂直于面的作用力）与受力的面积的比值。如 F 表示压力， A 表示受力面，则