

高职高专系列教材

炼油过程及设备

王凤林 编



中國石化出版社

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

高职高专系列教材

炼油过程及设备

王凤林 编

中国石化出版社
地址：北京市东城区安定门内大街28号
邮编：100011 电话：(010) 84271830
读者服务部电话：(010) 84271830
http://www.sinopec.com.cn
E-mail: press@sinopec.com.cn
北京分公司：北京朝阳区惠新东街甲15号
北京分公司：北京朝阳区惠新东街甲15号
北京分公司：北京朝阳区惠新东街甲15号

中国石化出版社

定价：45.00元

内 容 提 要

本书为高职高专系列教材。本书结合炼油化工专业教学的特点,紧密联系石油化工装置生产实际对炼油化工过程和单体设备原理、性能、结构、操作原则和事故处理预案作了较详细的阐述。同时,本书树立创新、安全、质量、环保及竞争意识,以提高分析问题与解决问题的能力。本书除作职业技术教材外,亦可作为石油化工企业技能人才培养之用。

图书在版编目(CIP)数据

炼油过程及设备/王凤林编. —北京:中国石化出版社,
2008
(高职高专系列教材)
ISBN 978-7-80229-637-4

I. 炼… II. 王… III. ①石油炼制—高等学校:技术学校—教材②石油炼制—化工设备—高等学校:技术学校—教材 IV. TE62 TE96

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 091163 号

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.cn

北京密云红光制版公司排版

北京宏伟双华印刷有限公司印刷

全国各地新华书店经销

*

787×1092 毫米 16 开本 19.5 印张 1 插页 466 千字

2008 年 9 月第 1 版 2008 年 9 月第 1 次印刷

定价:42.00 元

前 言

本书是由原石油部人教司于1980年组织编写,1982年内部发行。后经原中国石化总公司人事部培训处组织修订,由中国石化出版社于1993年出版发行。

为了适应石油化工高等职业学校及高等专科学校发展的需要,结合炼油化工专业教学和在岗中高级炼油化工技术工人的培训特点,在编写时,兼顾了与基础课、专业课的内在联系和本书各章节之间的内在联系。同时,对各单体设备原理、性能、结构、操作原则和事故处理预案作了较详细的阐述。紧密联系石油化工装置生产实际,树立创新意识、安全意识、质量意识、环保意识及竞争意识,以提高分析问题与解决问题的能力。

原书由:王建民(大连石化公司)、王凤林(大庆石化公司)、陆良福(高桥石化公司)、闫洁(抚顺石化公司)等编写,并由陆良福主编。

近30年过去了,为了适应科技的发展,需要对原书的内容进行补充修订。此次修订工作是在原书基础上进行的,主体框架不变,删除已过时的技术,更新某些提法,增加与大规模炼油化工装置相关的新技术,强化计算机技术的应用。

本次修订由王凤林负责编写。

由于编者水平有限,书中一定会有不少缺点甚至错误,敬请读者不吝批评指正。

编 者

目 录

绪论	(1)
一、炼油化工过程概述	(1)
二、本教材的研究对象及框架结构	(1)
三、基本概念	(1)
四、单位制	(2)
第一章 流体力学基础	(3)
第一节 流体静力学	(3)
一、密度、相对密度和比容	(3)
二、流体的压强	(6)
三、流体静力学基本方程式	(7)
四、静力学基本方程式的应用	(8)
第二节 流体动力学	(12)
一、流量和流速	(12)
二、稳定流动与非稳定流动	(13)
三、稳定流动时的连续性方程	(14)
四、流体流动的能量守恒——柏努利方程式	(15)
第三节 流体在管路中流动时的阻力	(19)
一、流体的黏性——绝对黏度(动力黏度)和运动黏度	(19)
二、流体流动的类型和雷诺数	(21)
三、管路中流体流速的分布	(23)
四、当量直径	(24)
五、流体阻力的计算	(24)
第四节 管路计算与流量测量	(30)
一、简单管路的计算	(30)
二、流速和流量的测定	(32)
本章小结	(37)
思考题	(37)
习题	(38)
第二章 流体输送设备	(43)
第一节 离心泵的工作原理及构造	(44)
一、离心泵的工作原理	(44)
二、离心泵的构造及主要部件	(45)
第二节 离心泵的特性	(47)
一、离心泵的基本性能参数	(47)

二、离心泵的特性曲线	(50)
三、离心泵的比转数	(51)
第三节 离心泵的汽蚀现象与安装高度	(52)
一、离心泵的汽蚀现象	(52)
二、离心泵的安装高度	(54)
第四节 离心泵的操作	(55)
一、管路特性	(55)
二、有泵管路的流量调节	(57)
三、离心泵的操作	(58)
四、离心泵的故障及消除措施	(59)
第五节 离心泵的型号与选择	(59)
一、离心泵的型号	(59)
二、离心泵的选用	(60)
第六节 其他类型泵	(61)
一、往复泵	(61)
二、齿轮泵	(64)
三、各种泵的比较	(65)
第七节 气体输送与压缩机械	(66)
一、离心式通风机	(67)
二、鼓风机	(69)
三、压缩机	(70)
四、真空泵	(73)
本章小结	(76)
思考题	(77)
习题	(78)
第三章 传热过程及设备	(81)
第一节 概述	(81)
一、传热过程及设备在炼油化工生产中的作用	(81)
二、传热的三种基本方式	(81)
第二节 导热	(82)
一、稳定传热的概念	(82)
二、导热速率方程——傅立叶(Fourier)定律	(82)
三、导热系数	(83)
四、多层平壁的导热	(85)
五、单层圆筒壁的导热	(87)
六、多层圆筒壁的导热	(89)
第三节 给热(对流传热)	(91)
一、给热的基本概念	(91)
二、给热方程式	(91)

三、影响给热系数的因素	(92)
四、几种常见给热方式的给热系数大致范围	(93)
第四节 无相变化时给热系数的具体计算公式	(93)
一、流体在圆形直管内强制对流时的给热系数	(93)
二、流体在非圆形管中强制流动时的给热系数	(98)
第五节 有相变化时的给热情况	(98)
一、蒸气冷凝时给热的特点及给热系数	(98)
二、沸腾给热的特点及给热系数	(99)
第六节 通过间壁的传热速率方程及传热系数	(100)
一、通过间壁的传热速率方程式	(100)
二、传热系数的物理意义	(101)
三、传热热阻	(102)
四、控制热阻	(102)
五、污垢热阻	(103)
第七节 平均温度差	(106)
一、冷热两流体的流动方式	(106)
二、平均温度差的计算	(107)
第八节 K 值的标定及大致范围	(111)
一、传热系数 K 值的标定	(111)
二、传热系数 K 的大致范围	(111)
第九节 强化传热的途径	(113)
一、增大传热面积 S	(113)
二、增大平均温度差 Δt_m	(113)
三、提高总传热系数 K	(114)
第十节 化工设备的保温保冷	(115)
一、保温保冷的目的	(115)
二、选择保温保冷材料的原则	(115)
第十一节 换热器的分类	(115)
一、按用途分类	(115)
二、按传热方式分类	(116)
三、按结构分类	(116)
第十二节 管壳式换热器	(117)
一、固定板式列管换热器	(117)
二、浮头式换热器	(118)
三、U 形管式换热器	(121)
四、管壳式换热器流体走管程或壳程的选择	(123)
五、管壳式换热器的发展方向	(123)
六、管壳式换热器的操作	(123)
第十三节 板式换热器	(124)

一、螺旋板式换热器	(124)
二、板式换热器	(125)
三、板式换热器的发展方向	(125)
第十四节 板翅式换热器	(125)
第十五节 热管式换热器	(126)
一、工作原理	(126)
二、热管式换热器的分类	(126)
三、大型热管空气预热器在加热炉节能中的应用	(127)
四、热管式换热器的特点	(128)
五、热管式换热器的发展方向	(128)
第十六节 空气冷却器	(128)
一、空冷器的结构	(128)
二、被冷却介质的出口温度控制方法	(129)
三、空气冷却器的特点和发展方向	(130)
第十七节 其他型式的换热器	(130)
一、套管式换热器	(130)
二、喷淋式换热器	(130)
三、蛇管式换热器	(130)
第十八节 换热设备的校核计算	(131)
一、校核计算换热设备的目的	(131)
二、热负荷的计算	(131)
三、传热系数 K 的选取和计算	(131)
本章小结	(137)
思考题	(139)
习题	(139)
第四章 管式加热炉	(143)
第一节 概述	(143)
第二节 管式加热炉的主要炉型	(143)
一、箱式炉	(143)
二、立式炉	(143)
三、圆筒炉	(145)
四、无焰炉	(145)
五、管式加热炉的发展方向	(146)
第三节 燃烧器	(147)
一、气体燃烧器(或气嘴)	(147)
二、液体燃烧器(或油嘴)	(148)
三、油气联合燃烧器(Ⅲ型)	(149)
四、燃烧器的新进展	(149)
第四节 管式加热炉的其他部件	(153)

(481)一、炉管	(153)
(481)二、回弯头	(153)
(481)三、管件与管板	(154)
(481)四、炉墙	(154)
(481)五、钢结构	(155)
(481)六、管式加热炉的烟囱	(156)
(第五节 燃料的燃烧	(157)
(281)一、燃烧过程的实质与理论空气用量	(157)
(281)二、过剩空气系数	(158)
(281)三、燃料发热值	(158)
(第六节 管式加热炉的传热特点	(160)
(281)一、辐射传热基本概念	(160)
(281)二、热辐射的基本定律	(161)
(281)三、两黑体之间平行平面的辐射传热	(163)
(281)四、管式炉的辐射传热	(163)
(第七节 加热炉的热平衡及主要工艺指标分析	(164)
(001)一、加热炉的热平衡	(164)
(001)二、加热炉的热效率	(164)
(001)三、加热炉的热负荷	(166)
(201)四、炉管表面热强度	(166)
(201)五、火墙温度	(168)
(201)六、油品在炉管内的流速和压力降	(169)
(第八节 管式加热炉的操作和清焦	(170)
(001)一、加热炉开、停工操作的主要步骤	(170)
(001)二、正常操作	(171)
(101)三、影响平稳操作的主要因素	(172)
(501)四、事故处理预案	(173)
(001)五、空气-蒸汽清焦法	(174)
(第九节 管式加热炉的标定校核计算	(175)
(801)一、原始标定数据	(175)
(801)二、计算	(176)
(001)三、计算结果分析	(178)
(本章小结	(179)
(思考题	(179)
(习题	(180)
第五章 蒸馏	(182)
(第一节 概述	(182)
(第二节 相组成的表示方法	(182)
(011)一、质量分率	(182)

二、摩尔分率	(183)
三、质量分率与摩尔分率的换算	(183)
四、气体混合物的组成	(183)
第三节 双组分溶液气液相平衡	(184)
一、溶液及理想溶液	(184)
二、双组分理想溶液气-液相平衡	(184)
三、道尔顿定律及拉乌尔定律	(184)
四、相平衡方程	(185)
第四节 双组分溶液气-液相平衡图	(186)
一、混合物的沸点、泡点和露点	(186)
二、泡点方程式及露点方程式	(186)
三、 $t-x-y$ 图	(186)
四、相平衡曲线 $y-x$ 图	(188)
五、组分的挥发度和组分间相对挥发度	(188)
六、相对挥发度计算气液相平衡关系	(189)
第五节 精馏	(190)
一、简单蒸馏	(190)
二、平衡蒸馏	(190)
三、精馏	(190)
四、特殊蒸馏方法	(192)
第六节 物料衡算及操作线方程	(195)
一、全塔物料衡算	(195)
二、操作线方程	(196)
三、操作线方程在 $y-x$ 相图上的表示	(199)
第七节 双组分连续精馏塔的计算	(200)
一、理论塔板数	(201)
二、实际塔板数	(202)
三、回流比的确定	(203)
四、全塔热量衡算	(205)
五、精馏塔的操作	(208)
六、精馏操作发展的方向	(208)
本章小结	(209)
思考题	(211)
习题	(212)
第六章 塔设备	(214)
第一节 概述	(214)
第二节 板式塔	(214)
一、塔板的结构特点	(215)
二、塔板介绍	(216)

三、塔板的负荷性能图	(225)
四、影响板效率的因素	(226)
本章小结	(227)
思考题	(228)
第七章 吸收	(229)
第一节 吸收的物理基础	(229)
一、组成的表示方法	(229)
二、气液相平衡关系	(230)
三、吸收机理	(232)
第二节 吸收塔及其计算	(233)
一、填料塔的构造及操作条件	(233)
二、吸收塔的物料平衡及应用	(234)
三、吸收方程式	(237)
四、填料塔主要尺寸核算	(238)
五、其他形式吸收塔	(240)
第三节 吸收的操作流程	(240)
一、脱吸	(240)
二、吸收流程	(240)
本章小结	(242)
思考题	(243)
习题	(243)
第八章 萃取	(245)
第一节 液-液萃取操作基本原理	(245)
一、概述	(245)
二、相平衡	(245)
三、萃取过程在三元相图上的表示	(247)
四、溶剂比与温度对萃取过程的影响	(247)
五、溶剂的选择	(249)
第二节 液-液萃取设备	(249)
一、填料萃取塔	(249)
二、转盘萃取塔	(250)
三、筛板塔	(251)
第三节 新萃取技术——超临界流体萃取	(251)
一、基本原理	(251)
二、超临界流体的基本概念	(252)
三、超临界流体萃取的基本特征	(252)
四、典型的超临界流体萃取过程	(253)
五、超临界流体萃取在炼油化工生产中的应用	(253)
六、萃取技术的新进展	(254)

本章小结	(254)
思考题	(256)
习题	(256)
第九章 冷冻	(257)
第一节 基本概念	(257)
一、冷冻的物理基础	(257)
二、冷冻剂和载冷体	(257)
三、冷冻能力和冷冻系数	(258)
第二节 压缩蒸气冷冻机	(259)
一、压缩蒸气冷冻机的操作循环	(259)
二、温熵图及其应用	(260)
三、压缩蒸气冷冻机的核算	(261)
四、冷冻机主要设备	(262)
五、单级压缩蒸气冷冻机的适用范围	(263)
本章小结	(264)
思考题	(265)
习题	(266)
第十章 吸附分离过程及设备	(267)
第一节 概述	(267)
第二节 吸附和脱附的概念	(268)
一、吸附概念	(268)
二、吸附平衡	(268)
三、吸附速率	(268)
四、吸附控制阻力	(269)
五、影响吸附的因素	(269)
六、脱附概念	(270)
第三节 吸附剂的种类及用途	(271)
第四节 几种典型的吸附分离过程及设备	(273)
一、变压吸附	(273)
二、模拟移动床吸附分离过程	(274)
三、氨脱附吸附分离过程	(276)
四、水蒸气脱附过程	(276)
第五节 吸附塔	(277)
第六节 吸附分离技术的发展方向	(278)
一、新型吸附剂的开发	(278)
二、操作技术及合理的工艺流程的开发	(278)
本章小结	(279)
思考题	(280)

附录	(281)
一、某些气体的重要物理性质	(281)
二、某些液体的重要物理性质	(282)
三、干空气的物理性质(101.33kPa)	(284)
四、水的物理性质	(284)
五、水在不同温度下的黏度	(284)
六、水的饱和蒸汽压(-20 ~ 100℃)	(285)
七、饱和水蒸气表(以温度为准)	(285)
八、饱和水蒸气表(用 kPa 为单位的压强为准)	(285)
九、液体的比热容	(286)
十、蒸发潜热(汽化热)	(288)
十一、石油馏分焓图	(插页)
十二、管子规格(摘录)	(290)
十三、泵规格	(292)
十四、4-72-11 型离心通风机规格(摘录)	(294)
十五、氨的热力性质	(295)
十六、氨的 $T-S$ 图	(296)
参考文献	(297)

绪 论

一、炼油化工过程概述

炼油化工也称石油化工，是把原油(复杂烃类)加工成汽油、喷气燃料油、灯用煤油、轻柴油、重柴油、润滑油、芳烃、烯烃、化工原料油等成品油，直至用化工原料油生产出化肥、腈纶、涤纶、尼龙、塑料、橡胶等各种产品的加工过程。而过程则是热力学中的一个概念，也称过程函数，例如，把汽油从馏出口温度冷却到环境温度叫恒压恒容冷却过程。

进入 21 世纪以来，随着依靠自有技术建设的千万吨/年炼油装置不断建成投产，标志着我国炼油化工行业规模上、技术上达到了国际水平，已成为设备标准化、管理程序化及 DCS 控制的现代石油化工装置。

尽管这些装置千差万别，即便是在同一装置中也是管道纵横交错如织，机泵棋布，看上去也极其复杂。但是，经长期实际观察及研究分析发现：这些复杂的工艺基本上是由若干个简单的过程与设备即单元操作组合而构成的工艺加工装置。这就是人类在 20 世纪 20 年代对化工生产装置认识的第一次抽象。蒸发过程及设备则是最早提出的单元操作，还有流体输送、沉降、过滤、搅拌、传热、结晶、干燥、蒸馏、吸收、萃取、冷冻等化工过程及设备都称为单元操作。

二、本教材的研究对象及框架结构

本书重点介绍四种单元操作：

- (1) 以流体力学为基础的单元操作——流体输送过程及设备。
- (2) 以热量传递理论为基础的单元操作——传热过程及设备。
- (3) 以质量传递理论为基础的单元操作——蒸馏、吸收、萃取、吸附、分离过程及设备。
- (4) 属于热力过程的冷冻操作。

通过对主要单元操作基本规律的学习，重点掌握过程原理，熟悉典型设备的结构及计算、选型和优化等基础知识，不仅仅懂得怎样进行操作与调节，而且还可以通过计算机进行优化操作，节能降耗，以适应不同的生产要求；编制应对事故预案，并在遇到突发情况时，能准确分析、寻找其原因，并采取正确的解决措施。目的是培养、提高学生运用工程的观点分析和解决各种炼油化工工程中实际问题的能力。本书在相关的章节给读者以提示用以提高创新能力。

本教材是一个完整体系，书中所列的图表及书后的附图表，基本上能满足课程计算的需要。

三、基本概念

(1) 物料衡算。根据质量守恒定律，说明进入物系的物料量必等于排出物系的物料量与过程积累量。当无积累量时，即：

$$\text{进料量} = \text{排出量} \quad (0-1)$$

(2) 能量衡算。能量有机械能、热能等多种形式，在操作中有几种形式的能量之间相互

转换时,应采用能量衡算确定它们之间的关系。由于在炼油化工生产中,有时参与过程的多股物料之间交换的能量形式只涉及热能一种,这时可以简化为:

$$\text{输入热量} = \text{输出热量} \quad (0-2)$$

热量衡算不仅适用于一个设备,也适用于设备的局部,炼油化工生产过程中,热平衡计算作为衡量生产中能量运用是否完善或正常操作的重要方法之一。

(3) 平衡关系。任一过程中,物系的变化必趋于一个方向,如任其发展,结果一定会达到平衡。例如:在一定温度下,将一撮食糖放入一杯水中,糖即逐渐溶解。若温度维持不变,而且有过量的食糖存在,说明溶液中食糖的浓度即达到一个定值(饱和溶液)为平衡状态。只有当温度变化时,溶液中食糖的浓度也会有变化,并达到新的平衡。

平衡关系表示物系变化的极限,可根据它推知过程能否进行及可能进行到何种程度。

(4) 过程速率。物系在单位时间和单位传递面积内,由不平衡向平衡变化的快慢程度称之为过程速率,是关系到生产过程所需设备的大小。影响过程速率的因素很多,但可以近似简化为:

$$\text{过程速率} = \frac{\text{推动力}}{\text{阻力}} \quad (0-3)$$

式(0-3)也称特征方程或本构方程。

这里推动力的意义是指直接导致过程进行的动力。例如:流体流动的推动力是压强差、位差等,传热的推动力是温度差,传质的推动力是浓度差。但阻力的含义较复杂,它包括了除推动力以外的各种因素。不同过程,属于阻力的因素亦各不相同。对阻力的分析、研究与计算,作为纵线贯穿本教材的全部内容。

物料衡算和能量衡算是平衡方程式,它与速率方程的联合运用是各单元操作计算中的基本方法,必须熟练掌握。

四、单位制

在物理学中长度和时间是独立的物理量,称为基本量。它们的单位分别为 m、s,称为基本单位。其他物理量则根据它们与基本物理量之间的内在联系导出它们的单位。这些物理量称为导出量,它们的单位为导出单位。例如:速度的单位 m/s 为导出单位。我们把基本单位与导出单位的总和称单位制。

(1) 绝对单位制。绝对单位制以长度、时间、质量为基本量,在 CGS 制(物理单位制)中,其单位分别为 cm、s、g。

(2) 工程单位制。工程单位制(重力单位制)中,以长度、时间、力为基本量,其中力的单位为 kgf。1kgf 等于质量为 1kg 的物体在重力加速度为 9.81m/s^2 的海平面上所受的重力。

(3) 国际单位制。国际单位制的国际代号为 SI。国际单位制共规定了七个基本单位:长度单位 m(米)、时间单位 s(秒)、质量单位 kg(千克)、热力学温度单位 K(开尔文)、电流强度单位 A(安培)、光强度单位 cd(坎德拉)和物质的量单位 mol(摩尔)。

国务院《关于在我国统一实行法定计量单位的命令》,不允许使用非法定计量单位。为此,本书采用我国法定计量单位。但极个别图表,仍沿用绝对单位制和工程单位制。

第一章 流体力学基础

在炼油化工生产中所处理的物料，大多数是液体和气体。而液体和气体因具有流动性故统称为流体。

本章主要讨论有关流体流动的原理及如何应用这些原理去解决流体输送的问题。

(1) 从设计创新角度看，通过本章学习则能解决以下几个问题：

- ① 选适宜的流速，确定输送管路的直径，以做到既节约经济又能保证输送任务的完成；
- ② 计算将流体从低位提升到高位所需的能量，以及流体在流动过程中的能量消耗，为选输送设备提供依据；
- ③ 选择向物系提供能量的输送设备(泵)，做到型式适用，大小合理，操作效率较高；
- ④ 合理选用计量装置(流量计、压力表、压差计等)，保证计量范围适宜，结果可靠；
- ⑤ 通过本章及以后的学习，人们将了解到哪些是前人已经完善的理论，哪些是半经验、半理论的公式，这些公式目前虽然很有用，但却需要后继之人去研究、去开发、去完善前沿性技术，给学生及读者以创新性提示，以便开发新的技术和制造新设备(其实，任何专业领域都有其不完善的地方，否则科学就不能向前发展，本学科亦是如此)。

(2) 从操作管理角度看，通过本章学习又可以解决如下问题：

- ① 校核计算(简称核算)。通常运行的生产装置要进行定期和不定期标定与校核计算，通过校核计算我们可以判断生产是否在最佳状态下运行。若需提高处理能力，通过校核计算我们可以判断原有管路管径的大小，泵的输送能力，流量计的量程范围是否合适等。
- ② 强化操作条件。通过本章基本规律的学习，可以在计算机上进行模拟仿真操作；编写相关程序；制定最优操作条件；编制应对事故预案，如停水、停电及其他事故等。
- ③ 凡是化工过程都有它的极限过程，即理想过程也称可逆过程，本章的极限过程是理想流体的柏努利方程式。以及将在后续课程传质(精馏、吸收、萃取、冷冻等)中所讨论的极限——相平衡过程。理想过程是实际过程的一种抽象，是实际过程的一种假定，是实际过程的一种标准，能使分析方法得以简化，可以说没有假定就没有科学。

此外，在以后学习传热、传质、冷冻过程时，大多涉及流体的流动问题，而流体的流动情况与这些过程的操作效率有着密切联系。所以流体力学不仅是直接解决流体在静止和运动时各种问题的理论基础，而且对于传热、传质、冷冻等过程的研究也是非常重要的。

第一节 流体静力学

一、密度、相对密度和比容

1. 密度

单位体积流体的质量称为流体的密度，以 ρ 表示。密度是流体的重要属性之一，表征流体内部质点的质量的密集程度。

$$\rho = m/V$$

(1-1)

式中 ρ ——流体的密度, kg/m^3 ;

m ——流体的质量, kg ;

V ——流体的体积, m^3 。

液体通常可视作具有不可压缩性, 故压强对其密度的影响可忽略不计。但液体的密度却随温度的变化而变化。例如水在 4°C 时的密度是 $1000\text{kg}/\text{m}^3$, 而在 20°C 时的密度为 $998.2\text{kg}/\text{m}^3$, 在 100°C 时为 $958.4\text{kg}/\text{m}^3$ 。因此, 在选取密度时, 一定要注意是在哪个温度下的密度。

在炼油化工生产中的物料, 大多为混合流体, 液体混合物和气体混合物的密度分别按下列式子计算:

$$\frac{1}{\rho_{\text{混液}}} = \frac{z_1}{\rho_1} + \frac{z_2}{\rho_2} + \cdots + \frac{z_n}{\rho_n} = \sum_{i=1}^n \frac{z_i}{\rho_i} \quad (1-2)$$

$$\rho_{\text{混气}} = \rho_1 \bar{Y}_1 + \rho_2 \bar{Y}_2 + \cdots + \rho_n \bar{Y}_n = \sum_{i=1}^n \rho_i \bar{Y}_i \quad (1-3)$$

式中 $\rho_1, \rho_2, \dots, \rho_n$ ——混合物中各组分的密度, kg/m^3 ;

$z_1, z_2, \dots, z_n$ ——液体混合物中各组分的重量分率;

$\bar{Y}_1, \bar{Y}_2, \dots, \bar{Y}_n$ ——气体混合物中各组分的重量分率。

2. 相对密度

流体在某温度 t 下的密度与水在 4°C 或在 15.6°C (60°F) 时密度之比, 称为该流体在某温度 t 下的相对密度。用符号 d_4^t 或 $d_{15.6}^t$ 表示。即

$$d_4^t = \rho^t / \rho_{\text{水}}^{4^\circ\text{C}} \quad (1-4)$$

或

$$d_{15.6}^t = \rho^t / \rho_{\text{水}}^{15.6^\circ\text{C}} \quad (1-4a)$$

$t = 20^\circ\text{C}$ 时可以记为 d_4^{20} 或 $d_{15.6}^{20}$ 。

相对密度是两个单位相同的物理量的比值, 所以没有单位。

由于水在 4°C 时的密度为 $1000\text{kg}/\text{m}^3$, 在 15.6°C 时为 $999.03\text{kg}/\text{m}^3$, 二者数值上十分接近, 在工程计算中 d_4^{20} 和 $d_{15.6}^{20}$ 可不加区分, 也就是把 15.6°C 时水的密度也视作 $1000\text{kg}/\text{m}^3$ 。

由此, 在同一温度下, 流体的密度与相对密度在数值上的关系为:

$$\rho = 1000d, \text{kg}/\text{m}^3 \quad (1-5)$$

液体和气体的密度及相对密度一般随温度的升高而减小, 各种物料的相对密度可以从有关计算图表查得。图 1-1 是不同温度下油品的相对密度曲线, 由此可以通过油品 $d_{15.6}^{15.6}$ 的相对密度查得各温度下的相对密度。

流体的物性数据, 包括书中后面涉及到的黏度、热容、热焓、饱和蒸气压等, 过去是靠查各种手册、图表等方法, 这仍是一种好方法, 但图表、手册价格昂贵又不断更新, 用几年就过时, 现在上机检索既方便快捷又准确, 是一种更好的方法。

另外油品的相对密度还可以通过比重指数进行计算, 即:

$$^\circ\text{API}(\text{比重指数}) = 141.5/d_{15.6}^{15.6} - 131.5$$

3. 比容

单位质量流体所占有的体积称为该流体的比容, 用符号 v 表示, 单位为 m^3/kg 。

$$v = V/m = \frac{1}{m/V} = \frac{1}{\rho} \quad (1-6)$$