

石油化工技工学校统编教材

炼油过程及设备

陆良福 主编

中国石化出版社



京)

-43

73 628-43
001

081478



石油化工技工学校统编教材

炼油过程及设备

陆良福 主编



200425548



中国石化出版社

(京)新登字048号

内 容 提 要

本书以炼油各主要单元操作作为基本内容,着重叙述各主要单元操作的基本原理、设备性能、结构、事故处理和计算方法。

本书内容有:流体力学基础、流体输送机械、传热过程与设备、管式加热炉、蒸馏、塔设备、吸收、萃取、冷冻、吸附分离过程与设备等十章。每章均有例题且附有思考题、习题及本章小结。

本书可作为石油技工学校炼油专业教材,亦可供炼油操作工阅读和技术培训

石油化工技工学校统编教材

炼油过程及设备

陆良福 主编

中国石化出版社出版

(北京朝阳区太阳宫路甲1号 邮政编码:100029)

海丰印刷厂排版印刷

新华书店北京发行所发行

787×1092毫米 16开本 19¹/₂印张 1插页 496千字 印1—7000

1993年5月北京第1版 1993年5月北京第1次印刷

ISBN 7-80043-291-2/TE·053 定价:4.80元

前 言

本书是由中国石化总公司人事部培训处组织编写，全部内容的教学时数为182学时。

为了适应石油化工技工学校炼油专业基础课教学特点和炼油工的培训，在编写本书时，兼顾了与基础课、炼油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作了较详细的讨论。使学生在实习过程中能更好地联系实际，以提高分析问题与解决问题的能力。

本书由大连石化公司技校王建民、大庆石化总厂炼油厂技校王凤林、抚顺石化公司石油三厂技校阎洁、高桥石化公司炼油厂技校陆良福编写，并由陆良福主编。在编写过程中，夏国华提出了宝贵的意见，陈明惠总工程师对全书进行了审阅，在此表示感谢。

由于编者水平有限，书中一定会有不少缺点甚至错误，敬请同志们批评指正。

绪 论

一、本课程的研究内容和任务

早在本世纪20年代，人们发现无论是在制糖工业中，还是在肥料生产中，溶液蒸发液体所遵循的原理是相同的，因此，提出了单元操作的概念。这里，蒸发成为最早提出的单元操作之一。除此之外，流体的输送、沉降、过滤、搅拌、传热、结晶、干燥、蒸馏、吸收、萃取、冷冻等等都称为单元操作。

若将若干单元操作串联组合则可构成一个工艺制造过程。本书限于篇幅，故对其中常见的几种进行讨论。

(1) 以流体力学为基础的单元操作：流体输送。

(2) 以热量传递理论为基础的单元操作：传热。

(3) 以质量传递理论为基础的单元操作：蒸馏、吸收、萃取。

此外，本书还介绍了属于热力过程的冷冻操作和吸附分离过程及设备。

本课程是以数学、物理、化学、制图、物理化学等课程作为基础，以炼油化工生产中的物理变化过程为研究对象的一门技术基础课。为了学好本课程，不仅要具有必备的基础知识，还应对石油化工生产中的知识有一些初步的认识和了解，在学习各主要单元操作时，应注意与基础知识的联系，并重视实验和工厂实习环节。通过对各主要单元操作的学习要了解各单元操作所遵循的基本规律。由于单元操作包括过程与设备两个方面，所以，我们应重点掌握过程的原理，熟悉典型设备的构造与操作性能。通过各单元操作的学习，懂得怎样进行操作与调节，以适应不同生产的要求，并在遇到事故时，能准确分析、寻找事故的原因，采取正确的解决措施。

二、基 本 概 念

在学习本课程时，常常要运用下述四个基本概念。

1. 物料衡算 根据质量守恒定律，说明进入某装置或某设备的物料量必等于排出某装置或某设备的物料量与过程累积的量。当无累积量时，即：进料量=排出量。

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能量之间相互转化时，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过程中，有时参与过程的多股物料之间交换的能量形式只涉及到热能一种，这时可简化为：输入热量=输出热量

热量衡算不仅适用于一个设备，也适用于设备的局部，在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。只有当温度升高时，溶液中食糖的浓度才会变化，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, 但可近似简化为:

$$\text{过程速率} = \text{推动力} / \text{阻力}$$

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。阻力的含义较复杂, 它包括了推动力以外的各种因素的概括, 不同过程, 属于阻力的因素亦各不相同。

物料衡算和能量衡算是平衡方程, 它与过程特征方程(如速率方程, 阻力计算式等)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, 并能运用上述基本关系提高分析问题和解决问题的能力。

三、单 位 制

我们在基础课学习中知道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。其它物理量则根据它们与基本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 。在MKS制中, 其中质量的单位为 kg 。

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, 是1960年10月第十一届国际计量大会通过的。国际单位制共规定了七个基本单位, 除MKS制中原有的长度 m (米)、时间单位 s (秒)和质量单位 kg (千克)外, 还加上热力学温度单位 K (开尔文)、电流单位 A (安培)、光强度单位 cd (坎德拉)和物质单位 mol (摩尔)。国际单位制有两大优点: 一是它的通用性。在自然科学、工程技术乃至国民经济各部门中, 所有物理量的单位都可由上述七个基本单位导出, 也就是说, SI是所有科学、技术、经济部门都可采用的一套相当完整的单位制。二是它的一贯性。任何一个SI导出单位在由上述七个基本单位相乘或相除而导出时, 都不要引入比例系数。SI中每种物理量只有一个单位。譬如, 热和功是本质相同的物理量(能量), 但在工程单位制中, 热的单位是 $kcal$, 功的单位 $kgf \cdot m$, 在运算中必须通过所谓“热功当量”($1kcal = 427kgf \cdot m$) 这样一个比例系数来换算。而在SI中热、功、能三者的单位都采用 J (焦耳)转换时无需换算因数。

为了适应我国国民经济与文化教育事业的发展, 推进科学技术进步与扩大国际经济文化交流。国务院于1984年2月27日发布了《关于在我国统一实行法定计量单位的命令》, 采用了以国际单位制单位为基础, 保留少数国内外习惯或通用的非国际单位制的单位外, 不允许再使用非法定计量单位。为此, 本课程采用我国法定计量单位。但极个别图表, 乃延用绝对单位制和工程单位制。

目 录

绪 论

第一章 流体力学基础

第一节 流体静力学基本概念	2
一、密度、相对密度和比容	2
二、流体的压强	4
第二节 流体静力学基本方程式及其应用	5
一、流体静力学基本方程式	5
二、静力学基本方程式的应用举例	6
第三节 流体动力学	10
一、流量和流速	11
二、稳定流动与非稳定流动	12
三、稳定流动时的连续性方程	12
四、流体流动的能量守恒——柏努利方程式	13
第四节 流体在管路中流动时的阻力	18
一、流体的粘性——绝对粘度(动力粘度)和运动粘度	18
二、流体流动的类型和雷诺准数	20
三、管路中流体流速的分布	22
四、当量直径	23
五、流体阻力的计算	23
第五节 柏努利方程式的应用	29
一、简单管路的计算	30
二、流速和流量的测定	32
本章小结	36
思考题	38
习题	38
本章主要符号说明	41

第二章 流体输送机械

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	51
一、离心泵的汽蚀现象	51
二、离心泵的安装高度	54
第四节 离心泵的操作	56
一、管路特性	56
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	60
一、离心泵的型号	60
二、离心泵的选用	61
第六节 其它类型泵	61
一、往复泵	61
二、齿轮泵	65
第七节 气体输送与压缩机械	66
一、离心式通风机	67
二、往复式压缩机	69
三、真空泵	71
本章小结	74
思考题	75
习题	76
本章主要符号说明	77

第三章 传热过程与设备

第一节 概述	79
一、传热过程与设备在石油炼制和石油化工生产中的应用	79
二、传热的三种基本方式	79
第二节 导热	80
一、稳定传热的概念	80
二、单层平壁的导热	80
三、导热系数	81
四、多层平壁的导热	83
五、单层圆筒壁的导热	85
六、多层圆筒壁的导热	87
第三节 给热(对流传热)	89
一、给热的基本概念	89
二、给热方程式	89
三、影响给热系数的因素	90
四、几种常见给热方式的给热系数大致范围	90

第四节	无相变化时给热系数的具体计算公式	91
一、	流体在圆形直管内强制对流时的给热系数	91
二、	流体在非圆形管中强制流动时的给热系数	95
第五节	有相变化时的给热情况	96
一、	蒸气冷凝时给热的特点及给热系数	96
二、	沸腾给热的特点及给热系数	97
第六节	通过间壁的传热速率方程及传热系数	98
一、	通过间壁的传热速率方程式	98
二、	传热系数的物理意义	99
三、	热阻	99
四、	控制热阻	100
五、	污垢热阻	101
第七节	平均温度差	103
一、	冷热两流体的流动方式	104
二、	平均温度差的计算	105
第八节	K 值的标定及大致范围	109
一、	传热系数 K 值的标定	109
二、	传热系数 K 的大致范围	109
第九节	强化传热的途径	111
一、	增大传热面积 S	111
二、	增大平均温度差 Δt_m	112
三、	提高总的传热系数 K	112
第十节	化工设备的保温保冷	113
一、	保温保冷的目的	113
二、	选择保温保冷材料的原则	114
第十一节	换热器的分类	114
一、	按用途分类	114
二、	按传热方式分类	114
三、	按结构分类	115
第十二节	管壳式换热器	115
一、	固定管板式列管换热器	115
二、	浮头式换热器	116
三、	U型管式换热器	121
四、	管壳式换热器流体走管程或壳程的选择	122
五、	管壳式换热器的发展方向	122
六、	管壳式换热器的操作	123
第十三节	板式换热器	123
一、	螺旋板式换热器	123
二、	板式换热器	124
三、	板式换热器的发展方向	124

第十四节 板翅式换热器	124
第十五节 热管式换热器	125
一、工作原理	125
二、热管式换热器的分类	125
三、大型热管空气预热器在加热炉节能中的应用	126
四、热管式换热器的特点	127
五、热管式换热器的发展方向	127
第十六节 空气冷却器	127
一、空冷器的结构	127
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	129
第十七节 其它型式的换热器	129
一、套管式换热器	129
二、喷淋式换热器	129
三、蛇管式换热器	130
第十八节 换热设备的核算	130
一、核算换热设备的目的	130
二、热负荷的计算	130
三、传热系数 K 的选取和计算	131
本章小结	137
思考题	138
习题	139
本章主要符号说明	140

第四章 管式加热炉

第一节 概述	142
第二节 管式加热炉的炉型	142
一、箱式炉	142
二、立式炉	143
三、圆筒炉	144
四、无焰炉	145
五、管式加热炉的发展方向	146
第三节 燃烧器	146
一、气体燃烧器(或气嘴)	146
二、液体燃烧器(或油嘴)	147
三、油气联合燃烧器(Ⅲ型)	148
四、燃烧器的新进展	148
第四节 管式加热炉的其它部件	151
一、炉管	151
二、回弯头	151

三、管件与管板	152
四、炉墙	152
五、钢结构	153
六、管式加热炉的烟囱	153
第五节 燃料的燃烧	154
一、燃烧过程的实质与理论空气用量	154
二、过剩空气系数	155
三、燃料发热值	156
第六节 管式加热炉的传热特点	158
一、辐射传热基本概念	158
二、热辐射的基本定律	159
三、两黑体之间平行平面的辐射传热	161
四、管式炉的辐射传热	161
第七节 加热炉的热平衡及主要工艺指标分析	162
一、加热炉的热平衡	162
二、加热炉的热效率	162
三、加热炉的热负荷	163
四、炉管表面热强度	164
五、火墙温度	166
六、油品在炉管内的流速和压力降	167
第八节 管式加热炉的操作和清焦	168
一、加热炉开、停工操作主要步骤	168
二、正常操作	169
三、影响平稳操作的主要因素	170
四、事故处理	171
五、空气-蒸汽清焦法	172
第九节 管式加热炉的标定核算	173
一、原始测定数据	173
二、计算	175
三、计算结果分析	177
本章小结	177
思考题	178
习题	179
本章主要符号说明	179

第五章 蒸 馏

第一节 概述	181
第二节 相组成的表示方法	181
一、质量分率	182
二、摩尔分率	182

三、质量分率与摩尔分率的换算·····	182
四、气体混合物的组成·····	183
第三节 双组分溶液汽液相平衡·····	183
一、溶液及理想溶液·····	183
二、双组分理想溶液汽-液相平衡·····	184
三、道尔顿定律及拉乌尔定律·····	184
四、相平衡方程·····	184
第四节 双组分溶液汽-液相平衡图·····	185
一、混合物的沸点、泡点和露点·····	185
二、泡点方程式及露点方程式·····	185
三、 $t-x-y$ 图的制得·····	186
四、相平衡曲线图 $y-x$ 图·····	187
五、组分的挥发度和组分间相对挥发度·····	188
六、相对挥发度计算汽液相平衡关系·····	188
第五节 精馏·····	189
一、简单蒸馏·····	189
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·····	194
一、全塔物料衡算·····	194
二、操作线方程·····	195
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·····	200
二、实际塔板数·····	202
三、回流比的确定·····	202
四、全塔热量衡算·····	204
五、精馏塔的操作·····	207
本章小结·····	207
思考题·····	209
习题·····	210
本章主要符号说明·····	210

第六章 塔 设 备

第一节 概述·····	212
第二节 板式塔·····	213
一、塔板的结构特点·····	213
二、塔板介绍·····	215
三、塔板的负荷性能图·····	224

四、影响板效率的因素·····	225
本章小结·····	226
思考题·····	226
本章主要符号说明·····	227

第七章 吸 收

第一节 吸收的物理基础·····	228
一、组成的表示方法·····	228
二、气液相平衡关系·····	230
三、吸收机理·····	231
第二节 吸收塔及其计算·····	232
一、填料塔的构造及操作条件·····	232
二、吸收塔的物料平衡及应用·····	234
三、吸收方程式·····	236
四、填料塔主要尺寸核算·····	238
五、其它型式吸收塔·····	239
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·····	241
思考题·····	243
习题·····	243
本章主要符号说明·····	244

第八章 萃 取

第一节 液-液萃取操作基本原理·····	246
一、概述·····	246
二、相平衡·····	247
三、萃取过程在三元相图上的表示·····	248
四、溶剂比与温度对萃取过程的影响·····	249
五、溶剂的选择·····	250
第二节 液-液萃取设备·····	250
一、填料萃取塔·····	250
二、转盘萃取塔·····	252
三、筛板塔·····	252
本章小结·····	252
思考题·····	254
习题·····	254
本章主要符号说明·····	255

第九章 冷 冻

第一节 基本概念	256
一、冷冻的物理基础	256
二、冷冻剂和载冷体	256
三、冷冻能力和冷冻系数	257
第二节 压缩蒸气冷冻机	258
一、压缩蒸气冷冻机的操作循环	258
二、温熵图及其应用	259
三、压缩蒸气冷冻机的核算	260
四、冷冻机主要设备	251
五、单级压缩蒸气冷冻机的适用范围	263
本章小结	263
思考题	264
习题	265
本章主要符号说明	265

第十章 吸附分离过程与设备

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、脱附概念	268
第三节 吸附剂的种类及用途	269
第四节 几种典型的吸附分离过程及设备	272
一、变压吸附	272
二、模拟移动床吸附分离过程	273
三、氨脱附吸附分离过程	274
四、水蒸汽脱附分子筛脱蜡过程	275
第五节 吸附塔	276
第六节 吸附分离技术的发展方向	277
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	278
思考题	279
本章主要符号说明	279

附 录

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)	285

四、水的物理性质	285
五、水在不同温度下的粘度	285
六、水的饱和蒸汽压(-20°C 至 100°C)	286
七、饱和水蒸汽表(以温度为准)	286
八、饱和水蒸汽表(用kPa为单位的压强为准)	286
九、液体的比热	287
十、蒸发潜热(汽化热)	289
十一、石油馏分焓图	插页
十二、管子规格(摘录)	291
十三、泵规格	293
十四、4-72-11型离心通风机规格(摘录)	295
十五、氨的热力性质	296
十六、氨的 $T-S$ 图	297
参考文献	298

第一章 流体力学基础

炼油及石油化工厂的生产中,所处理的物料,包括原料、半成品及产品等,大多是液体和气体。液体和气体因具有流动性而统称为流体。这类工厂的生产过程几乎都是在流体流动的状态下完成的。例如炼厂最重要的二次加工手段——催化裂化生产中,由常减压装置来的减压馏分,焦化馏出油经加热炉后喷入提升管反应器,在催化剂作用下发生裂解后再进入分馏塔分离出液态烃、汽油、轻柴油、重柴油等产品的全过程都需要把流体从一个车间输送到另一个车间,从一个设备送到另一个设备。要完成这个任务,不仅需要完善适用的机泵设备和管线,还要有具备一定理论知识和操作技能的合格工人。如果操作、安装不当,在流体输送过程中出现问题(如管路堵塞、机泵发生故障等)就会严重影响生产的顺利进行,甚至导致生产中断,造成事故。因此,人们都形象地把这些联接设备的管线比作炼厂的“血管”,把提供能量输送流体的机械比作工厂的“心脏”。由此可知,作为一名炼厂的技术工人认识流体的基本规律和有关的知识是十分必要的。

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。

流体输送问题究竟包括哪些内容,可以从下面的实例说明。图1-1是某装置轻油品输送管路的示意图。

此图表示用泵将处于低位油罐中的油品送入处于高位的精馏塔内,送入的油品由流量计计量。对这样一条比较简单的管路,有许多问题需要正确处理和合理解决。

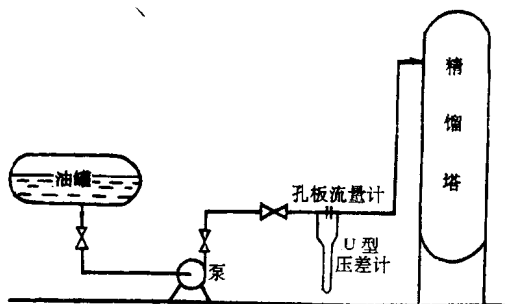


图 1-1 精馏塔的原料进料管路

从设计角度看,有以下几点需要考虑:

- (1) 选用适宜的流速,确定输送管路的直径,以做到既经济节约又能保证输送任务的完成;
- (2) 计算将流体从低位油罐提升到精馏塔所需要的能量,以及流体在流动过程中的能量消耗,为选用输送机械提供科学依据;
- (3) 正确选择向油品提供能量的输送机械(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。

从核算角度看,若已有上述管路,需要提高处理能力,必须通过计算判断原有管路的管径大小,泵的输送能力,流量计的量程范围等能否满足提高处理量的要求。另外,研究流体流动形态和条件,还可以改进设备和强化操作。

总之,要达到上述目的,必须了解与流体有关的规律。从图1-1可以看出,油品的输送以及附属设备流量计、压差计都属流体力学问题。其中,泵、流量计以及流体在管路中的流动等都是流体动力学问题,而流体在压差计中处于静止状态则是流体静力学问题。因此,只有学会和掌握了流体在运动和静止状态下的规律性才能解决上述问题。

此外,在传热和传质过程中,大多涉及到流体的流动问题,而流体的流动情况与这些过

程的操作效率有着密切的联系。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、传质过程的研究也是非常重要的。

第一节 流体静力学基本概念

生产装置上常看到一种U型管压差计,用以测量器内的压差或压强。在这种情况下,U型管内的流体都是静止的。流体静力学就是研究流体在静止状态下所受的各种力之间的关系,而这些力的大小和流体的密度、压强等性质有关。下面先介绍一些有关的流体性质和基本概念。

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,若以 V 和 m 分别表示流体的体积和质量,则

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

在SI中,质量的单位为千克(kg),体积的单位为立方米(m^3),所以 ρ 的单位为 kg/m^3 。

液体通常可视作不具压缩性,故压强对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℃时的密度为 $1000 kg/m^3$,而在20℃时的密度为 $998.2 kg/m^3$,在100℃时为 $958.4 kg/m^3$ 。因此,在选取密度数值时,一定要注意是哪个温度下的密度。

石油炼制加工的物料,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:

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

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

式中 $\rho_1, \rho_2, \dots, \rho_n$ ——混合物中各组分的密度;

$z_1, z_2, \dots, z_n$ ——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体积分率。

2. 相对密度 流体在某温度 t 下的密度与水在4℃或15.6℃(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_t^t 或 $d_{15.6}^t$ 表示。即

$$d_t^t = \rho_t^t / \rho_{\text{水}}^{4^\circ} \quad (1-4)$$

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

$t=20^\circ\text{C}$ 时可记为 d_{20}^{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℃时的密度为 $1000 kg/m^3$,在15.6℃为 $999.03 kg/m^3$ 二者数值上十分接近,在工程计算中 d_t^t 和 $d_{15.6}^t$ 可不加区分,也就是把15.6℃时水的密度也视作 $1000 kg/m^3$ 。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

$$\rho = 1000d \quad (1-5)$$

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1-2是不同温度下的相对密度曲线,由此可以查得各温度下相对密度为