



高等教育“十二五”规划教材

# 化工原理课程设计

HUAGONG YUANLI KECHENG SHEJI

王卫东 主编



化学工业出版社



高等教育“十二五”规划教材

# 化工原理课程设计

HUAGONG YUANLI KECHENG SHEJI

王卫东 主编



化学工业出版社

· 北京 ·

本书从培养学生工程设计基本技能出发, 针对高等院校化工原理课程设计的需要编写。

全书包括 7 部分内容, 即绪论、化工设计计算基础、化工设计绘图基础、板式精馏塔的设计、填料吸收塔的设计、换热器的设计、课程设计说明书撰写。化工设计的一般原则、要求、内容和步骤等, 分别融合在各具体的化工单元操作与设备设计或选型过程中。

本书可供高等院校化工类及相关专业作为化工原理课程设计的指导书; 也可供从事化学工程及设备设计的工程技术人员参考。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

化工原理课程设计/王卫东主编. —北京: 化学工业出版社, 2011.9

高等教育“十二五”规划教材

ISBN 978-7-122-11755-7

I. 化… II. 王… III. 化工原理-课程设计-高等学校-教材 IV. TQ02-41

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 130264 号

---

责任编辑: 徐雅妮 张 亮  
责任校对: 吴 静

文字编辑: 丁建华  
装帧设计: 史利平

---

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 刷: 北京市振南印刷有限责任公司

装 订: 三河市宇新装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张 12¼ 字数 305 千字 2011 年 9 月北京第 1 版第 1 次印刷

---

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

---

定 价: 25.00 元

版权所有 违者必究

# 前 言

本书从培养学生工程设计基本技能出发,针对高等院校化工原理课程设计的教学实际需要,按照化工原理课程教学体系的基本要求,结合吉林化工学院及兄弟院校多年的教学实践经验和教学改革成果,在参阅了国内外最新的有关化工设计资料的基础上编写而成。

本书简明扼要地阐述了课程设计的一般原则、要求、内容和步骤,选择典型的单元操作,主要编写了板式精馏塔设计、填料吸收塔设计及换热器设计的内容,对设计方案的确定,工艺设计的方法及步骤,设备的结构设计和附属设备的选型进行了详细介绍,并附有设计所需的公式、图表、数据以供查用。所介绍的单元操作过程都有示例,并附设计任务书数则,可供不同专业课程设计时选用。此外,为强化学生科技论文的撰写能力,本书还增加了课程设计说明书撰写的内容。

本书可供高等院校化工类及相近专业作为化工原理课程设计的指导书,也可供从事化学工程及设备设计的工程技术人员参考。

参加教材编写的人员及分工如下:绪论由王卫东、张振坤编写;第1章由张福胜、徐洪军编写;第2章由张卫华、刘放编写;第3章由王卫东编写;第4章由孙国富(许昌学院)编写;第5章由李忠玉、徐松(常州大学)编写;第6章由庄志军、曾庆荣编写。全书由王卫东统稿,吉林化工学院张鹏教授审定。

在本书的编写过程中,吉林化工学院林琨智教授对书稿提出了许多宝贵意见,常州大学、许昌学院等兄弟院校给予了鼓励和支持,在此致以诚挚的感谢。

由于时间仓促和水平有限,书中难免存在缺点和错误,恳请读者批评指正。

编者

2011年5月

# 目 录

<b>0 绪论</b> .....	<b>1</b>
0.1 化工原理课程设计的性质和目的 .....	1
0.2 化工原理课程设计的基本内容及步骤 .....	1
0.2.1 化工原理课程设计的基本内容 .....	1
0.2.2 化工原理课程设计的基本步骤 .....	2
0.3 化工原理课程设计的要求 .....	2
0.3.1 设计说明书的编排和要求 .....	3
0.3.2 图纸要求 .....	3
0.3.3 设计的有关说明 .....	3
0.3.4 化工原理课程设计中计算机的应用 .....	4
<b>第 1 章 化工设计计算基础</b> .....	<b>5</b>
1.1 物料衡算 .....	5
1.1.1 物料衡算式 .....	5
1.1.2 衡算步骤 .....	5
1.2 热量衡算 .....	5
1.2.1 热量衡算式 .....	6
1.2.2 衡算基本方法及步骤 .....	6
1.3 物性数据的查取和估算 .....	6
1.3.1 密度 .....	6
1.3.2 黏度 .....	7
1.3.3 热导率 .....	8
1.3.4 比热容 .....	9
1.3.5 汽化潜热 .....	9
1.3.6 表面张力 .....	10
1.3.7 液体的饱和蒸气压 .....	11
1.3.8 二组分汽液平衡组成与温度（或压力）的关系 .....	11
<b>第 2 章 化工设计绘图基础</b> .....	<b>13</b>
2.1 工艺流程图的分类 .....	13
2.2 带控制点的工艺流程图的绘制 .....	14
2.2.1 图样内容 .....	14
2.2.2 图的绘制范围 .....	14
2.2.3 比例与图幅、图框 .....	14
2.2.4 字体 .....	15

2.2.5	图线与箭头	16
2.2.6	设备的表示方法	17
2.2.7	管道表示方法	19
2.2.8	阀门与管件的表示方法	22
2.2.9	仪表控制点的表示方法	22
2.2.10	化工典型设备的自控流程	24
2.3	设备的工艺条件图	26
2.3.1	工艺条件图的作用	26
2.3.2	工艺条件图的内容	26
<b>第3章</b>	<b>板式精馏塔的设计</b>	<b>27</b>
3.1	概述	27
3.2	精馏塔设计的内容及要求	28
3.2.1	精馏塔设计的内容	28
3.2.2	绘图要求	28
3.3	板式塔的类型	29
3.3.1	泡罩塔板	29
3.3.2	筛孔塔板	30
3.3.3	浮阀塔板	30
3.3.4	喷射型塔板	31
3.4	板式精馏塔设计方案的确定及有关知识	31
3.4.1	蒸馏方式的选定	32
3.4.2	装置流程的确定	32
3.4.3	操作条件的确定	32
3.4.4	板式塔类型的选择	33
3.4.5	设计方案确定的原则	34
3.5	精馏塔物料、热量衡算	34
3.5.1	精馏塔物料衡算	34
3.5.2	精馏塔热量衡算	35
3.6	精馏塔塔板数的计算	36
3.6.1	平衡关系	37
3.6.2	操作方程及 $q$ 线方程	38
3.6.3	理论塔板数的计算	39
3.6.4	塔效率的估算	41
3.7	板式塔主要工艺尺寸的设计计算	43
3.7.1	板式塔主要尺寸设计的特点、方法和基本思路	43
3.7.2	塔高和塔径	43
3.7.3	塔板上液流型式的选择	46
3.7.4	溢流装置的设计计算	46
3.7.5	塔板设计	51
3.7.6	筛板塔的设计计算	52
3.7.7	浮阀塔的设计计算	56

3.7.8	板式塔的结构及塔体总高度	60
3.7.9	板式塔的附属设备	61
3.8	板式精馏塔设计示例	65
3.8.1	浮阀精馏塔设计示例	65
3.8.2	筛板精馏塔设计示例	82
3.9	精馏塔设计任务书示例	92
3.10	精馏塔计算框图	94
	本章符号说明	97
<b>第4章</b>	<b>填料吸收塔的设计</b>	<b>98</b>
4.1	概述	98
4.2	设计方案的确定	98
4.2.1	吸收剂和吸收方法的选择	99
4.2.2	吸收(或解吸)操作条件的选择	100
4.2.3	吸收(或解吸)装置流程的确定	100
4.2.4	能量的合理利用	101
4.2.5	典型吸收-解吸流程	102
4.3	填料	103
4.3.1	传质过程对塔填料的基本要求	103
4.3.2	填料的类型	103
4.3.3	填料的性能特征	107
4.3.4	填料的选择	107
4.4	填料吸收塔的设计计算	110
4.4.1	气-液相平衡关系的获取	110
4.4.2	吸收剂用量的确定	112
4.4.3	塔径的计算	113
4.4.4	液体喷淋密度的验算	115
4.4.5	填料层高度计算	116
4.4.6	填料层的分段	120
4.4.7	塔的附属高度	121
4.4.8	填料塔的总压降及填料层压降的计算	121
4.5	填料塔附属结构	122
4.5.1	填料支承装置	122
4.5.2	液体喷淋装置	123
4.5.3	液体收集及再分布装置	124
4.5.4	填料压板与床层限制板	124
4.5.5	防壁流圈	124
4.5.6	气体的进、出口装置与排液装置	125
4.5.7	除沫器	125
4.5.8	填料塔附属结构设计	126
4.6	吸收剂循环功率计算和选泵	127
4.7	填料塔的辅助装置	128

4.8	填料吸收塔设计示例 .....	128
4.9	填料吸收塔设计任务书示例 .....	134
	本章符号说明 .....	136
<b>第5章</b>	<b>换热器的设计 .....</b>	<b>137</b>
5.1	列管式换热器的类型 .....	137
5.1.1	固定管板式换热器 .....	137
5.1.2	浮头式换热器 .....	138
5.1.3	U形管式换热器 .....	138
5.1.4	填料函式换热器 .....	139
5.2	列管式换热器标准简介 .....	139
5.3	设计的主要内容 .....	140
5.4	设计方案的确定 .....	140
5.5	换热器工艺结构尺寸设计 .....	142
5.5.1	换热管的选择 .....	142
5.5.2	管长、管程数和总管数的确定 .....	143
5.5.3	管子的排列 .....	144
5.5.4	排管图与实际管数 .....	144
5.5.5	壳体直径与壳体厚度的确定 .....	145
5.6	列管式换热器的设计计算 .....	146
5.6.1	列管式换热器的设计计算步骤 .....	146
5.6.2	传热计算的主要公式 .....	146
5.6.3	流体通过换热器的阻力损失（即压强降）的计算 .....	153
5.7	主体构件的设计与连接 .....	154
5.7.1	管束分程 .....	154
5.7.2	壳程分程 .....	155
5.7.3	管板 .....	155
5.7.4	管箱和封头 .....	155
5.7.5	折流板 .....	156
5.7.6	其他主要构件 .....	157
5.7.7	换热器主要连接 .....	158
5.7.8	支座 .....	158
5.8	列管式换热器设计计算示例 .....	158
5.9	换热器设计任务书示例 .....	162
	本章符号说明 .....	163
<b>第6章</b>	<b>课程设计说明书撰写 .....</b>	<b>164</b>
6.1	课程设计说明书的基本要求 .....	164
6.2	课程设计说明书的构成 .....	164
6.3	说明书撰写基本要求及格式 .....	164
6.3.1	前置部分 .....	164
6.3.2	主体部分 .....	165
6.3.3	后置部分 .....	169



6.4 示例 .....	169
6.4.1 封面示例 .....	169
6.4.2 目录示例 .....	169
6.4.3 正文示例 .....	170
6.4.4 设计任务书示例 .....	171
6.4.5 摘要示例 .....	171
<b>附录 .....</b>	<b>173</b>
附录 1 人孔 .....	173
附录 2 椭圆形封头 (摘自 JB/T 4746—2002) .....	176
附录 3 输送流体用无缝钢管常用规格品种 .....	180
附录 4 填料吸收塔工艺条件图示例 .....	181
附录 5 双溢流浮阀精馏塔工艺条件图示例 .....	182
附录 6 浮阀精馏塔工艺条件图示例 .....	183
附录 7 精馏工艺流程图示例 .....	184
附录 8 吸收工艺流程图示例 .....	185
<b>参考文献 .....</b>	<b>186</b>

# 0

## 绪 论

### 0.1 化工原理课程设计的性质和目的

化工原理课程设计是一门重要的实践课程，是综合运用“化工原理”课程和有关先修课程所学知识，完成以化工单元操作为主的一次设计实践。通过课程设计，对学生进行设计技能的基本训练，培养学生综合运用所学知识解决实际问题的能力，也为毕业设计打下基础。因此，化工原理课程设计重在培养学生的技术经济观、过程优化观、生产实际观、工程全局观，是提高学生实际工作能力的重要教学环节。其基本目的包括：

- ① 使学生掌握化工设计的基本步骤与方法；
- ② 结合设计课题，培养学生查阅有关技术资料及物性参数获取信息的能力；
- ③ 通过查阅技术资料，选用设计计算公式，搜集数据，分析工艺参数与结构尺寸间的相互影响，增强学生分析问题、解决问题的能力；
- ④ 对学生进行化工工程设计的基本训练，使学生了解一般化工工程设计的基本内容与方法；
- ⑤ 通过编写设计说明书，提高学生文字表达能力，掌握撰写技术文件的有关要求；
- ⑥ 了解一般化工制图基本要求，对学生进行绘图基本技能训练。

### 0.2 化工原理课程设计的基本内容及步骤

#### 0.2.1 化工原理课程设计的基本内容

化工原理课程设计应以化工单元操作的典型设备为对象，课程设计的题目尽量从科研和生产实际中选题。其基本内容包括：

- ① 设计方案简介，包括对给定或选定的工艺流程、主要设备的型式进行简要的论述；
- ② 主要设备的工艺设计计算，包括工艺参数的选定、物料衡算、热量衡算、设备的工艺尺寸计算及结构设计、流体力学验算；
- ③ 典型辅助设备的选型和计算，包括典型辅助设备的主要工艺尺寸计算和设备型号规格的选定；
- ④ 带控制点的工艺流程图，以单线图的形式绘制，标出主体设备和辅助设备的物料流向、物流量、能流量和主要化工参数测量点；

⑤ 主体设备工艺条件图，图面上应包括设备的主要工艺尺寸、技术特性表和接管表及组成设备的各部件名称等。

## 0.2.2 化工原理课程设计的基本步骤

### (1) 课程设计的准备工作

进行课程设计，首先要认真阅读、分析下达的设计任务书，领会要点，明确所要完成的主要任务。为完成该任务应具备哪些条件，开展设计工作的初步设想。然后，进行一些具体准备工作。而准备工作大体分两类：一类是结合任务进行生产实际的调研；另一类是查阅、收集技术资料。在设计中所需的资料一般有以下几种：

① 设备设计的国内外状况及发展趋势，有关新技术及专利状况，所涉及的计算方法等；

② 有关生产过程资料，如工艺流程、生产操作条件、控制指标和安全规程等；

③ 设计所涉及物料的物理参数；

④ 在设计中所涉及工艺设计计算的数学模型及计算方法；

⑤ 设备设计的规范及实际参考图等。

### (2) 确定操作条件和流程方案

① 确定设备的操作条件，如温度、压力和物流比等；

② 确定设备结构型式，比较各类设备结构的优缺点，结合本设计的具体情况，选择高效、可靠的设备型式；

③ 热能的综合利用、安全和环保措施等；

④ 确定单元设备的简单工艺流程图。

### (3) 主体设备的工艺设计计算

选择适宜的数学模型和计算方法，按照任务书规定要求、给定的条件以及现有资料进行工艺设计计算。主要包括：

① 主体设备的物料与热量衡算；

② 设备特征尺寸计算，如精馏、吸收设备的塔径、塔高，换热设备的传热面积等，可根据有关设备的规范和不同结构设备的流体力学、传质、传热动力学计算公式计算；

③ 流体力学验算，如流动阻力与操作范围验算。

### (4) 结构设计

在设备型式及主要尺寸确定的基础上，根据各种设备常用结构，参考有关资料与规范，详细设计设备各零部件的结构尺寸。如填料塔要求设计液体分布器、再分布器、填料支承、填料压板、各种接口等；板式塔要求确定塔板布置、溢流管、各种进出口结构、塔板支承、液体收集箱与侧线出入口、破沫网等。

### (5) 编写设计说明书

### (6) 绘制带控制点的工艺流程简图和主体设备工艺条件图

## 0.3 化工原理课程设计的要求

化工原理课程设计要求每位学生完成设计说明书一份、图纸两张。各部分的具体要求如下。

### 0.3.1 设计说明书的编排和要求

工艺设计说明书是整个工作的书面总结，也是后续设计工作的主要依据。应采用简练、准确的文字图表，实事求是地介绍设计计算过程和结果，具体内容包括：

- ① 封面，包括课程设计题目、学生班级及姓名、指导教师、时间；
- ② 目录（标题及页数）；
- ③ 设计任务书；
- ④ 中、外文摘要；
- ⑤ 概述及设计方案的说明论证（附流程示意图）；
- ⑥ 设计条件及主要物性参数表；
- ⑦ 工艺设计计算，包括物料与热量衡算、主要设备尺寸计算；
- ⑧ 辅助设备的计算及选型，包括机泵规格、换热器型式与换热面积等；
- ⑨ 设计结果汇总表，主要是两个表，一是系统物料衡算表，二是设备操作条件及结构尺寸一览表；
- ⑩ 设计评述（结束语），主要介绍设计者对本设计的评价及设计的学习体会；
- ⑪ 设计参考资料目录（资料的编号、书名、作者、出版单位及时间）；
- ⑫ 工艺流程图及设备工艺条件图；
- ⑬ 主要符号说明。

说明书必须书写（排版打印）工整、图文清晰。说明书中所有公式必须注明编号，所有符号必须注明意义和单位。

### 0.3.2 图纸要求

#### （1）工艺流程图

本设计要求画“带控制点的工艺流程图”一张。采用 A2（594mm×420mm）或 A3（420mm×293mm）图纸。以单线图的形式绘制，标出主体设备和辅助设备的物料流向、物流量、能流量和主要化工参数测量点。

#### （2）主体设备工艺条件图

通常化工工艺设计人员的任务是根据工艺要求通过工艺条件确定设备结构型式、工艺尺寸，然后提出附有工艺条件图的“设备设计条件单”。设备设计人员据此对设备进行机械设计，最后绘制设备装配图。

本设计要求画“主体设备工艺条件图”一张，采用 A2（594mm×420mm）或 A3（420mm×293mm）图纸。一般按 1:100 比例绘制，图面上应包括设备的主要工艺尺寸、技术特性表和接管表。

图纸要求：布局美观，图面整洁，图表清楚，尺寸标识准确，字迹工整，各部分线型粗细符合国家化工制图标准。

本设计从手绘图及计算机绘图两方面锻炼学生的绘图能力，可要求学生对一张图纸进行手绘，另一张采用计算机绘图。

### 0.3.3 设计的有关说明

① 课程设计不同于解题，设计计算时的依据和答案往往不是唯一的。故在设计过程中选用经验数据时，务必注意从技术上的可行性与经济上的合理性两个方面进行分析比较。一

个合理的设计往往必须进行多方案的比较，必须进行反复多次设计计算方能得到。

② 在设计过程中指导教师原则上不负责审核运算数字的正确性。因此学生从设计一开始就必须以严肃认真的态度对待设计工作，要训练自己独立分析判断结果正确性的能力。

③ 整个设计由论述、计算和绘图三部分组成，所以只有计算，缺少论述或绘图的设计是不允许的。

④ 设计中，每个人在完成规定任务的同时，还可以酌情在某些方面加深、提高。如精馏塔的设计中精馏方案的选定，可多查阅一些参考资料以便充实设计方案的论证材料；对塔板结构的设计计算进行多种方案的选择比较；还可以适当增加辅助设备的设计计算内容，或增加自行编程计算等。

### **0.3.4 化工原理课程设计中计算机的应用**

计算机的使用是提高设计质量的有力保证，尤其是在方案对比、参数选择、优化设计、图形绘制等方面更是如此。在可能的条件下要尽可能多地使用计算机进行计算及绘图。特别是优化设计计算（例如：在精馏设计中，所涉及的理论塔板的计算；泡、露点的计算等），要求学生自编程序，自己上机操作，在说明书中要附上框图、计算机程序及符号说明。

# 第 1 章

## 化工设计计算基础

### 1.1 物料衡算

物料衡算是化工设计计算中最基本、最重要的内容之一。在决定设计设备尺寸之前要定出所处理的物料量。整个过程或其某一步骤中原料、产物、副产物之间的关系可通过物料衡算确定。

#### 1.1.1 物料衡算式

根据质量守恒定律可得进入任何过程的物料质量应等于从该过程离开的物料质量与积存于该过程中的物料质量之和，即

$$\text{输入物料量} = \text{输出物料量} + \text{累积物料量}$$

若此过程为稳态过程，则上式可简化为

$$\text{输入物料量} = \text{输出物料量}$$

上述关系可在整个过程的范围内使用，亦可在一个或几个设备的范围内使用。它即可针对全部物料运用，在没有化学反应发生时还可针对化合物的任一组分来运用。

#### 1.1.2 衡算步骤

- ① 画出简单过程流程图，并用箭头指明进、出物流，把有关的已知量、未知量标在图上；
- ② 写出化学方程式(如果有的话)；
- ③ 用虚线框标明物料衡算范围；
- ④ 确定衡算对象并选择计算基准；
- ⑤ 建立方程式求解。

### 1.2 热量衡算

化工生产中所需的能量以热能为主，用于改变物料的温度与聚集状态以及提供反应所需的热量等。若操作中有几种能量相互转化，则其间的关系可通过能量衡算确定；若只涉及热能能量衡算便简化为热量衡算。

### 1.2.1 热量衡算式

根据能量守恒定律对热量衡算可写成：

$$\sum Q_1 = \sum Q_0 + \sum Q_L \quad (1-1)$$

式中  $\sum Q_1$ ——随物料进入系统的总热量；

$\sum Q_0$ ——随物料离开系统的总热量；

$\sum Q_L$ ——向系统周围散失的热量。

热量衡算中需要考虑的项目是进、出设备的物料本身的焓与外界输入或向外界输出的热量，有化学反应时则还包括反应所吸收或放出的热（反应热）。

### 1.2.2 衡算基本方法及步骤

热量衡算有两种情况：一种是在设计时根据给定的进、出物料量及已知温度求另一股物料的未知物料量或温度。常用于计算换热设备的蒸汽量或冷却水用量；另一种是在原有装置上对某个设备利用实际测定（有时也要作一些相应的计算）的数据计算出另一些不能或很难直接测定的热量或能量，由此对设备作出能量上的分析。如根据各股物料进、出口量及温度找出该设备的热利用和热损失情况。

热量衡算也需要确定基准，画出流程图，列出热量衡算表等。此外由于焓值的大小与温度有关，因而热量衡算还要指明基准温度。物料的焓值常从  $0^\circ\text{C}$  算起，若以  $0^\circ\text{C}$  为基准亦可不必再指明。有时为方便计算以进料温度或环境温度为基准，有时温度或采用数据资料的基温（例如反应热的基温是  $25^\circ\text{C}$ ），此时一定要指明。

## 1.3 物性数据的查取和估算

设计计算中的物性数据应尽可能使用实验测定值或从有关手册和文献中查取。有时手册上也以图表的形式提供某些物性的推算结果。常用的物性数据可由《化工原理》或《物理化学》附录、《化学工程手册》、《石油化工手册》、《化工工艺手册》、《化工工艺算图》等工具书查取。从物性手册中收集到的物性数据，常常是纯组分的物性，而设计所遇到物系一般为混合物。通常采用一些经验混合规则作近似处理，从而获取混合物的物性参数。下面仅就部分常规物系经验混合规则介绍如下。

### 1.3.1 密度

(1) 混合气体密度  $\rho_{gm}$

对压力不太高的气体混合物的密度可由下式求得：

$$\rho_{gm} = \sum_{i=1}^n \rho_{gi} y_i \quad \text{或} \quad \rho_{gm} = \frac{pM_m}{RT} \quad (1-2)$$

式中  $\rho_{gi}, y_i$ ——分别为混合气中  $i$  组分的密度和摩尔分数；

$M_m$ ——混合气平均分子量。对压力较高的混合气应引入压缩因子  $Z_i$  给予校正。

(2) 混合液体的密度  $\rho_{L,m}$

$$1/\rho_{L,m} = \sum_{i=1}^n (\omega_i / \rho_{L,i}) \quad (1-3)$$

式中  $\omega_i, \rho_{Li}$ ——分别为液体混合物中  $i$  组分的质量分数及密度。

### 1.3.2 黏度

(1) 纯液体黏度的计算

$$\lg \mu_L = \frac{A}{T} - \frac{A}{B} \quad (1-4)$$

式中  $\mu_L$ ——液体温度为  $T$  时的黏度,  $\text{mPa} \cdot \text{s}$ ;

$T$ ——温度,  $\text{K}$ ;

$A, B$ ——液体黏度常数, 见表 1-1。

表 1-1 液体的黏度常数

名称	黏度常数		名称	黏度常数	
	A	B		A	B
甲醇	555.30	260.64	1,2-二氯乙烷	473.93	277.98
乙醇	686.64	300.88	3-氯丙烯	368.27	210.61
苯	545.64	265.34	1,2-二氯丙烷	514.36	261.03
甲苯	467.33	255.24	二硫化碳	274.08	200.22
氯苯	477.76	276.22	四氯化碳	540.15	290.84
氯乙烯	276.90	167.04	丙酮	367.25	209.68
1,1-二氯乙烷	412.27	239.10			

(2) 互溶液体的混合物黏度  $\mu_{Lm}$

由 Kendall-Mouroe 混合规则得:

$$\mu_{Lm}^{1/3} = \sum_{i=1}^n (x_i \mu_{Li}^{1/3}) \quad (1-5)$$

式中  $\mu_{Li}$ ——与混合液同温度下  $i$  组分的黏度,  $\text{mPa} \cdot \text{s}$ ;

$x_i$ —— $i$  组分的摩尔分数。

此式适用于非电解质、非缔合性液体两组分的分子量差及黏度差 ( $\Delta\mu_i > 15\text{mPa} \cdot \text{s}$ ) 不大的液体。对油类计算误差为 2%~3%。

对于互溶非缔合性混合液体亦可用下列公式:

$$\mu_{Lm} = \sum_{i=1}^n x_i \lg \mu_{Li} \quad (1-6)$$

简单估算时可用下式:

$$\mu_{Lm} = \sum_{i=1}^n x_i \mu_{Li} \quad (1-7)$$

(3) 混合气体黏度  $\mu_{gm}$

① 常压下纯气体黏度  $\mu_{gi}$  计算

$$\mu_{gi} = \mu_{ogi} \left( \frac{T}{273.15} \right)^m \quad (1-8)$$

式中  $\mu_{ogi}$ ——气体在  $0^\circ\text{C}$ 、常压下的黏度,  $\text{mPa} \cdot \text{s}$ ;

$m$ ——关联指数。

某些常用气体的  $\mu_{ogi}$ 、 $m$  值分别由表 1-2、表 1-3 可以查得。



表 1-2 0°C 时常压气体的黏度 ( $\mu_{\text{ogi}}$  值)

气体	$\mu_{\text{ogi}}/\text{mPa}\cdot\text{s}$	气体	$\mu_{\text{ogi}}/\text{mPa}\cdot\text{s}$
CO <sub>2</sub>	$1.34\times 10^2$	CS <sub>2</sub>	$0.89\times 10^2$
H <sub>2</sub>	$0.84\times 10^2$	SO <sub>2</sub>	$1.22\times 10^2$
N <sub>2</sub>	$1.66\times 10^2$	NO <sub>2</sub>	$1.79\times 10^2$
CO	$1.66\times 10^2$	NO	$1.35\times 10^2$
CH <sub>4</sub>	$1.20\times 10^2$	HCN	$0.98\times 10^2$
O <sub>2</sub>	$1.87\times 10^2$	NH <sub>3</sub>	$0.96\times 10^2$
H <sub>2</sub> S	$1.10\times 10^2$	空气	$1.71\times 10^2$

表 1-3  $\mu_{\text{ogi}}$  计算式的  $m$  值

气体	$m$ 值	气体	$m$ 值
CH <sub>4</sub>	0.80	CO	0.758
CO <sub>2</sub>	0.935	NO <sub>2</sub>	0.89
H <sub>2</sub>	0.771	NH <sub>3</sub>	0.981
N <sub>2</sub>	0.756	空气	0.768

② 压力对气体黏度的影响 有压力时的气体黏度  $\mu_p$  可由对比态原理从压力对气体黏度的影响图中查出。

③ 气体混合物黏度  $\mu_{\text{gm}}$  在低压下混合气黏度由下式求得：

$$\mu_{\text{gm}} = \frac{\sum y_i \mu_{\text{gi}} (M_i)^{1/2}}{\sum y_i (M_i)^{1/2}} \quad (1-9)$$

式中  $\mu_{\text{gi}}$  ——  $i$  组分的黏度；

$M_i$  ——  $i$  组分的相对分子质量。

上式对含 H<sub>2</sub> 较高的混合气不适用，误差高达 10%。式中各组分的黏度  $\mu_{\text{gi}}$  可由式(1-8)估算获得或查物性手册获得。

### 1.3.3 热导率

(1) 液体混合物热导率  $\lambda_{\text{Lm}}$

① 有机混合物热导率

$$\lambda_{\text{Lm}} = \sum_{i=1}^n \omega_i \lambda_{\text{Li}} \quad (1-10)$$

式中  $\omega_i$  —— 液体混合物中  $i$  组分的质量分数；

$\lambda_{\text{Li}}$  —— 液体混合物中  $i$  组分的热导率。

② 有机液体水溶液混合物热导率

$$\lambda_{\text{Lm}} = 0.9 \sum_{i=1}^n \omega_i \lambda_{\text{Li}} \quad (1-11)$$

③ 胶体分散液及乳液

$$\lambda_{\text{Lm}} = 0.9 \lambda_{\text{c}} \quad (1-12)$$

式中  $\lambda_{\text{c}}$  —— 连续相组分的热导率。

(2) 气体混合物的热导率  $\lambda_{\text{gm}}$

① 非极性气体混合物 由 Broraw 法则估算：

$$\lambda_{\text{gm}} = 0.5 (\lambda_{\text{sm}} + \lambda_{\text{rm}}) \quad (1-13)$$

式中

$$\lambda_{\text{sm}} = \sum_{i=1}^n \lambda_{\text{gi}} y_i \quad (1-14)$$