化工计算手册

〔美〕N·P·乔佩　T·G·希克思　编

化学工业出版社

化工计算手册

〔美〕N. P. 乔佩　T. G. 希克思　编

吴兆宏　沈文豪　译

王守恒　校

化学工业出版社

内 容 提 要

本书系根据McGraw-Hill公司1984年出版的N. P. Chopey等主编的化工计算手册（Handbook of Chemical Engineering Calculation）译出。

本手册共分十四章，阐述了化工实践中最重要的工程计算。内容有物理和化学性质；化学计量学；相平衡；化学平衡；反应动力学和反应器设计；流体和固体流动；热量传递；精馏；萃取和浸取；结晶；过滤；液体搅拌；粉碎和其它化工计算。

本手册内容广泛实用，全书由精选的计算例题构成，辅以简要的说明和实用的图表。计算程序清晰、规范，适用于计算器解题，也为计算机求解提供了基础。

本手册供化工科技人员使用，也可作高等院校化工专业师生的教学参考书。

本书由上海科技大学教师吴兆宏（第一～六章）和沈文豪（第七～十四章）翻译。全书由王守恒教授审校。

Nicholas P. Chopey and Tyler G. Hicks
Handbook of Chemical Engineering Calculation
McGraw-Hill BOOK COMPANY
New York 1984

化工计算手册
吴兆宏 沈文豪 译
王守恒 校

责任编辑：陈丽
封面设计：任辉

化学工业出版社出版发行
（北京和平里七区十六号楼）
化学工业出版社印刷厂印刷
新华书店北京发行所经销

开本850×1168 1/32 印张20 1/4 字数572千字
1988年12月第1版 1988年12月北京第1次印刷
印 数 1—14,000
ISBN 7-5025-0281-5/TQ·226
定 价7.50元

序　言

本手册阐述了如何解决化工实践中所经常出现的、有关过程计算的主要问题。

本书是 *Standard Handbook of Engineering Calculations*（工程计算标准手册）的补充。该书是一本非常成功的手册，它的内容有各种工程学科的专题章节，其中化学工程一章篇幅较短。显然，出版一本专论化学工程的类似手册是合乎需要的。上面所提到的那本手册的编辑，Tyler Hicks，也是本书的共同编辑者，这有助于保证编写方法的连续性。这种引人入胜的编写方法是众所公认的，而且正是前书的特色。

本书的编写方法是采用附有解答的计算例题以说明问题。除了少数几章有必要的导论外，全书都是由详细解答的例题所组成。在一般情况下，所给的例题都以"Related Calculation(有关计算)"的讨论作终结，以说明这一特定解题技巧的适用性，并使它与上下文连成一气。每章的各种例题都经精心选择，使其足以阐明化工实践各个专门课题内所出现的最重要的问题（至于那些过于繁琐复杂而不适于那种编写方法的问题，则一概从略）。读者可以借助于计算器直接运用这些解题技巧解决问题；并且，这些例题和解题技巧将会加深对执行以计算机为基础的解法所必需的理解。

本手册的第一章阐明如何估计或计算与化工实践有关的许多物理和化学性质。接着几章论述基本的化学过程原理、化学计量学、相平衡和化学平衡、以及反应动力学。以后两章论述最常用的单元操作：流体流动（附有固体流动的一些例题）和热量传递。最后七章主要论述其它单元操作的最重要部分。

"流体流动和固体流动"一章的全部内容都选自《工程计算标准手册》，"化学计量学"一章的部分材料和最后一章"其它化学工程计

算”的大部分材料都来源于此手册。本书的其它各章内容都是专门撰写的。每一章都由一位或几位专家执笔，大部分例题也都是由有关专家亲自挑选。为此，我们谨对我们的撰稿人表示衷心的感谢。

N. P. 乔佩

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com

目　　录

第一章　物理和化学性质

1-1　摩尔气体常数 …… 1
1-2　用经验关联式估算临界温度 …… 2
1-3　用基团贡献法计算临界性质 …… 3
1-4　Redlich-Kwong状态方程 …… 9
1-5　气体混合物的P-V-T性质 ……10
1-6　气体混合物的密度 ……16
1-7　液体密度的估算 ……17
1-8　理想气体热容的估算 ……19
1-9　实际气体的热容 ……24
1-10　液体热容——普遍化关联 ……26
1-11　理想气体的焓差 ……29
1-12　汽化潜热的估算 ……29
1-13　蒸汽压的估算 ……32
1-14　焓的估算——普遍化方法 ……36
1-15　相变熵 ……41
1-16　由热容计算绝对熵 ……41
1-17　等熵膨胀 ……44
1-18　逸度的计算 ……47
1-19　由Scatchard-Hildebrand方程计算活度系数……50
1-20　活度系数关联方程和液液平衡数据 ……55
1-21　活度系数关联方程和汽液平衡数据 ……58
1-22　收敛压汽液平衡K值……62
1-23　生成热 ……79
1-24　标准反应热、标准自由焓变化和平衡常数 ……84
1-25　由生成热计算标准反应热——水溶液 ……85
1-26　由燃烧热计算标准反应热 ……85

1-27 由燃烧热计算标准生成热 ……88
1-28 由溶解度数据计算吸收热 ……89

第二章 化学计量学❶

2-1 物料衡算——不包含化学反应 ……92
2-2 物料衡算——有化学反应 ……94
2-3 物料衡算——组成或流量数据不全 ……96
2-4 物料衡算中应用连系元素 ……97
2-5 物料衡算——包含化学反应和一股循环料流 ……99
2-6 物料衡算——包含化学反应、循环流和排气流 …… 101
2-7 能量衡算与物料衡算同时使用 …… 103
2-8 煤在炉膛中的燃烧 …… 104
2-9 燃料油在炉膛中的燃烧 …… 107
2-10 天然气在炉膛中的燃烧 …… 110

第三章 相平衡

3-1 理想溶液的汽液平衡比 …… 115
3-2 纯液体的逸度 …… 117
3-3 非理想气相混合物 …… 119
3-4 非理想液体混合物 …… 120
3-5 理想液相、非理想汽相的K值 …… 123
3-6 理想汽相、非理想液相的K值 …… 124
3-7 汽液平衡实验数据的热力学一致性 …… 125
3-8 估算无限稀释活度系数 …… 127
3-9 估算Wilson活度系数方程模型参数 …… 129
3-10 液相为理想时露点的计算 …… 130
3-11 汽相为理想时泡点的计算 …… 133
3-12 二元汽液平衡相图 …… 135
3-13 多元液-液平衡 …… 138
3-14 等温闪蒸计算 …… 140

❶ 例题2-8和2-10取自T. G. Hicks 编 Standard Handbook of Engineering Calculations, McGraw-Hill Book Co., Inc.

第四章 化学平衡

4-1 反应热 …… 144
4-2 特殊化合物的生成热 …… 147
4-3 反应的标准自由焓差 …… 148
4-4 平衡组成的估算 …… 150
4-5 基于混合标准态的活度 …… 152
4-6 平衡组成的温度和压力效应 …… 154
4-7 已知联立反应的平衡组成 …… 155
4-8 未指定联立反应的平衡组成 …… 158
4-9 非均相化学反应 …… 160

第五章 反应动力学和反应器设计

5-1 由间歇式反应器数据的积分分析法确定反应速度表达式 …… 163
5-2 由间歇式反应器数据的微分分析法确定反应速度表达式 …… 166
5-3 计算绝热连续流动搅拌槽反应器的体积 …… 168
5-4 计算等温活塞流反应器的大小 …… 173
5-5 计算间歇式反应器所需的反应时间 …… 176
5-6 由连续流动搅拌槽反应器实验数据来计算反应速度 …… 179
5-7 催化剂的总表面积、活性表面积、孔隙率和平均孔径 …… 186
5-8 搅拌槽反应器系统的尺寸和设计 …… 189
5-9 由活塞流反应器实验数据确定反应速度表达式 …… 193

第六章 流体和固体流动❶

6-1 柏努利理论和连续性方程 …… 199
6-2 液体的比重和粘度 …… 200
6-3 层流管道的压力损失 …… 201
6-4 管内压力损失的计算 …… 202
6-5 复杂串联管路的当量长度 …… 209
6-6 水力半径和管内液体流速 …… 210

❶ 本章材料取自T. C. Hicks, "Standard Handbook of Engineering Calculations", McGraw-Hill Book Co., Inc.

6-7 各种材料水管的摩擦压头损失 …… 211
6-8 管道的相对输送能力 …… 214
6-9 压缩空气和气体管道中的流速和压力损失 …… 214
6-10 气体管路中的流量和压力损失 …… 216
6-11 输送固体悬浮液管道的摩擦损失 …… 217
6-12 蒸汽管内压力损失的确定 …… 219
6-13 过程所用的汽阱的选择 …… 222
6-14 蒸汽管孔板流量计的选择 …… 231
6-15 蒸汽管调压阀的选择 …… 233
6-16 水管减压阀的选择 …… 236
6-17 离心泵的相似定律 …… 238
6-18 离心泵选型的相似定律 …… 239
6-19 离心泵选型的比转数问题 …… 240
6-20 离心泵最佳操作速度的选择 …… 243
6-21 输送不挥发液体的泵的总扬程 …… 245
6-22 管路系统所用泵的选型 …… 250
6-23 泵和系统特性曲线的分析 …… 258
6-24 热液泵的净吸引压头 …… 266
6-25 离心泵的最小安全流量 …… 268
6-26 输送粘滞液体的离心泵的选型 …… 269
6-27 液体粘度对涡流泵性能的影响 …… 272
6-28 液体粘度对往复泵性能的影响 …… 273
6-29 粘度和溶解气体对旋转泵的影响 …… 274
6-30 鼓风机和引风机的选型 …… 277
6-31 从容量表选择动力厂风机 …… 281
6-32 风机最经济调节的确定 …… 284
6-33 高真空系统真空泵的选择 …… 287
6-34 真空系统的管速和管径 …… 291
6-35 块状物料提升机和输送机的选择 …… 292
6-36 螺旋输送器的输入功率和容量 …… 297

第七章 热量传递

7-1 详述辐射遮板 …… 300

7-2 黑色表面封闭体内部的辐射热交换 …… 302
7-3 太阳热对储槽的效应 …… 308
7-4 非绝热表面对空气的热损失 …… 311
7-5 绝热表面对空气的热损失 …… 313
7-6 地下管道的热损失 …… 314
7-7 非定态热传导：冷却时间 …… 315
7-8 非定态热传导：温度 …… 316
7-9 非定态热传导：温度分布 …… 317
7-10 带式冷却器的热传导 …… 320
7-11 带式冷却器尺寸的确定 …… 322
7-12 间歇加热：内盘管，恒温加热介质 …… 323
7-13 间歇冷却：内盘管，非恒温冷却介质 …… 324
7-14 间歇冷却：外换热器（逆流），非恒温冷却介质 …… 325
7-15 间歇冷却：外换热器（1—2程），非恒温冷却介质 …… 326
7-16 搅拌容器中的热量传递 …… 328
7-17 自然对流热量传递 …… 329
7-18 流体在管内流动的给热系数：强制对流、显热 …… 331
7-19 流体在螺旋管内流动的给热系数 …… 334
7-20 给热系数：流体流过管束；强制对流，显热 …… 335
7-21 换热器的平均温差 …… 339
7-22 列管式换热器的传热系数 …… 343
7-23 逆流换热器的出口温度 …… 347
7-24 1—2程换热器的出口温度 …… 349
7-25 立管冷凝 …… 352
7-26 水平管内冷凝 …… 356
7-27 水平管外冷凝 …… 363
7-28 有不凝性物存在的冷凝 …… 368
7-29 具有蒸汽向上流动冷凝器的最大蒸汽流速 …… 372
7-30 核状沸腾的热量传递 …… 373
7-31 产生核状沸腾的最小温差 …… 375
7-32 釜式再沸器的最大热通量 …… 378
7-33 带裸管的套管换热器 …… 380
7-34 带纵向翅片管的套管换热器 …… 382

7-35 低翅片管的热量传递 …… 385
7-36 翅片管束的热量传递 …… 391
7-37 空气冷却换热器 …… 395
7-38 管内流动的压降：单相流体 …… 401
7-39 管内流动的压降：两相流体 …… 405
7-40 流过管束的压降：单相流动 …… 409
7-41 流过管束的压降：两相流动 …… 417
7-42 冷凝-过冷器的实验数据 …… 422

第八章 精 馏

8-1 平衡级计算 …… 431
8-2 精馏塔板的选择和设计 …… 442
8-3 塔效率 …… 455
8-4 填充塔设计 …… 458
8-5 间歇精馏 …… 463
8-6 间歇精馏塔的设计 …… 464
8-7 总塔选择和设计 …… 473

第九章 萃取和浸取

9-1 多级逆流液液萃取 …… 480
9-2 多级逆流浸取 …… 485

第十章 结 晶

10-1 冷却法产生固相无水盐 …… 491
10-2 沸腾法产生固相无水盐 …… 493
10-3 冷却法产生固相水合盐 …… 493
10-4 沸腾法产生固相水合盐 …… 495
10-5 结晶法分离苯和萘 …… 498
10-6 已知晶体大小分布（CSD）的分析 …… 501
10-7 浆液样品的晶体大小分布 …… 504

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com

10-8 晶种结晶器产品的晶体大小分布 …… 507
10-9 混合悬浮-混合产品移除结晶器（MSMPR）的数据分析 …… 510
10-10 产品筛选效率 …… 513

第十一章 过 滤

过滤计算基础 …… 516
11-1 恒压过滤 …… 517
11-2 离心泵过滤 …… 523
11-3 滤饼的洗涤 …… 529
转筒真空过滤机 …… 534
11-4 转筒真空过滤机的设计 …… 537

第十二章 液体搅拌

2-1 搅拌器叶轮的运转功率 …… 542
2-2 混合两液体搅拌器的设计 …… 545
2-3 均匀混合所需的时间 …… 553
12-4 搅拌槽中的热量传递 …… 555
12-5 搅拌固体悬浮液的比拟放大 …… 558
12-6 气体分散搅拌器的设计 …… 561

第十三章 粉 碎

13-1 轧碎或研磨物料的粒度分布 …… 567
13-2 间歇球磨试验中的破碎和选择函数 …… 569
13-3 从进料数据预计产品粒度分布 …… 571
13-4 闭路研磨的物料衡算 …… 574
13-5 功指数（Work-index）计算 …… 574
13-6 研磨机的功率消耗与功指数的关系 …… 575
13-7 球磨机操作参数 …… 576
13-8 研磨介质的最大粒度 …… 577
13-9 研磨机所需的功率 …… 578

第十四章　其它化学工程计算❶

14-1　水蒸汽Mollier图和水蒸汽表的使用 …… 580
14-2　水蒸汽表中值的内插 …… 583
14-3　水蒸汽等压过程 …… 589
14-4　水蒸汽等容过程 …… 591
14-5　水蒸汽等温过程 …… 594
14-6　水蒸汽等熵过程 …… 597
14-7　水蒸汽不可逆绝热膨胀 …… 599
14-8　水蒸汽不可逆绝热压缩 …… 602
14-9　水蒸汽和水的节流过程 …… 604
14-10　湿度图的使用 …… 608
14-11　冷却塔排放量和补充量的要求 …… 610
14-12　软水剂的选择和分析 …… 612
14-13　水的完全去离子作用 …… 615
14-14　已知热负荷下的冷却池尺寸 …… 620
14-15　过程的温度控制分析 …… 622
14-16　过程控制中控制阀的选择 …… 624
14-17　控制阀的特性和幅度变化范围 …… 628
14-18　控制器选择中对气穴现象，亚临界和临界流动的研究 …… 630

❶ 除另外指出外，本章材料取自：T. G. Hicks, *Standard Handbook of Engineering Calculations*, McGraw-Hill Book Co., Inc.

第一章　物理和化学性质

1-1　摩尔气体常数

计算摩尔气体常数R，用下列单位表示：

a. (atm)(cm^3)/(g·mol)(K)

b. (psia)❶ (ft^3)/(lb·mol)(°R)

c. (atm)(ft^3)/(lb·mol)(K)

d. kWh/(lb·mol)(°R)

e. hp·h/(lb·mol)(°R)

f. (kPa)(m^3)/(kg·mol)(K)

g. cal/(g·mol)(K)

计算步骤

1. 设定基准

设气体处于标准状态，即1g·mol气体在1atm(101.3kPa)压力和0℃(273K，或492°R)，占有22.4L体积。

2. 计算气体常数

用适当的换算因子可得到不同单位的气体常数。因$PV=RT$，故$R=PV/T$。于是，

a. $R=(1atm)[22.4L/(g\cdot mol)](1000cm^3/L)/273K=82.05$ (atm)(cm^3)/(g·mol)(K)

b. $R=(14.7psia)[359ft^3/lb\cdot mol]/492°R=10.73$(psia)($ft^3$)/(lb·mol)(°R)

c. $R=(1atm)[359ft^3/(lb\cdot mol)]/273K=1.315$ (atm) (ft^3)/(lb·mol)(K)

---

❶ psia——lb/in^2 (绝压)

d. $R=[10.73(\text{psia})(\text{ft}^3)/(\text{lb}\cdot\text{mol})(^\circ\text{R})](144\text{in}^2/\text{ft}^2)[3.77\times10^{-7}\text{kWh}/\text{ft}\cdot\text{lbf}]$

$=5.83\times10^{-4}\text{kWh}/(\text{lb}\cdot\text{mol})(^\circ\text{R})$

e. $R=[5.83\times10^{-4}\text{kWh}/(\text{lb}\cdot\text{mol})(^\circ\text{R})](1/0.746\text{马力}\cdot\text{h}/\text{kWh})=7.82\times10^{-4}\text{马力}\cdot\text{h}/(\text{lb}\cdot\text{mol})(^\circ\text{R})$

f. $R=(101.325\text{kPa}/\text{atm})[22.4\text{L}/(\text{g}\cdot\text{mol})][1000\text{g}\cdot\text{mol}/\text{kg}\cdot\text{mol})]/(273\text{K})(1000\text{L}/\text{m}^3)=8.31(\text{kPa})(\text{m}^3)/(\text{kg}\cdot\text{mol}))(\text{K})$

g. $R=[7.82\times10^{-4}\text{hP}\cdot\text{h}/(\text{lb}\cdot\text{mol})(^\circ\text{R})][6.4162\times10^5\text{cal}/(\text{hp}\cdot\text{h})][1/453.6\text{lb}\cdot\text{mol}/(\text{g}\cdot\text{mol})](1.8^\circ\text{R}/\text{K})=1.99\text{cal}/(\text{g}\cdot\text{mol})(\text{K})$

1-2 用经验关联式估算临界温度

用Nokay经验关联式估算(a)正廿烷，(b)1-丁烯和(c)苯的临界温度。Nokay关联式是

$$\log T_c=A+B\log SG+C\log T_b$$

式中 T_c是临界温度，K；T_b是正常沸点，K；SG是液态碳氢物在60°F对相同温度的水的比重。A，B和C是经验常数，列于表1-1中。

计算步骤

1. 查正常沸点和比重

表 1-1 Nokay方程的经验常数

化合物族	A	B	C
烷烃（直链）	1.359397	0.436843	0.562244
环烃（脂环）	0.658122	−0.071646	0.811961
烯烃（链烯）	1.095340	0.277495	0.655628
炔烃（乙炔）	0.746733	0.303809	0.799872
二烯烃（双烯）	0.147578	−0.396178	0.994809
芳烃	1.057019	0.227320	0.669286

从文献中，例如Reid. Prausnitz, and Sherwood的著作[1]中，查得三种化合物的T_b和SG。（a）正廿烷（$C_{20}H_{42}$），$T_b=617K$，$SG=0.775$；（b）1-丁烯（C_4H_8），$T_b=266.9K$，$SG=0.595$；（c）苯（C_6H_6），$T_b=353.3K$，$SG=0.885$。

2.用表1-1中相应的常数计算临界温度

（a）正廿烷

$$\log T_c=1.359397+0.436843\log 0.775+0.562244\log 617$$
$$=2.87986,$$

所以，　$T_c=758.3K(905°F)$。

（b）1-丁烯

$$\log T_c=1.095340+2.77495\log 0.595+0.655628\log 266.9$$
$$=2.62355,$$

所以，　$T_c=420.3K(297°F)$。

（c）苯

$$\log T_c=1.057019+0.22732\log 0.885+0.669286\log 353.3$$
$$=2.75039,$$

所以，　$T_c=562.8K(553°F)$。

有关计算：本程序可用于估算含有如表1-1所示的单族碳氢化合物的临界温度。用C_1—C_{20}的链烷烃和C_3—C_{14}的各种其它碳氢物去核对方程，其平均偏差和最大偏差分别是6.5和35°F(3.6和19K)。

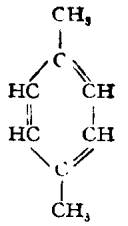
1-3　用基团贡献法计算临界性质

用Lydersen基团贡献法估算对二甲苯和N-甲基-2-吡咯烷酮的临界性质。

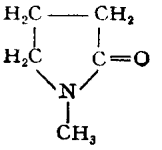
计算步骤：

1. 查出分子结构式、正常沸点T_b和分子量MW

从手册中查到对二甲苯（C_8H_{10}），得：$MW=106.16$，$T_b=412.3K$，结构式是



N-甲基-2-吡咯烷酮（C_5H_9NO）的$MW=99.1$，$T_b=475.0K$，结构式是



2．求出从表1-2中查得的各个性质增量的结构贡献之和

计算可用下列表格表示，表中N表示基团数目。对二甲苯为：

基　团	N	ΔT	ΔP	ΔV	$(N)(\Delta T)$	$(N)(\Delta P)$	$(N)(\Delta V)$
$-CH_3$（非环）	2	0.020	0.227	55	0.04	0.454	110
$-\overset{\vert}{C}=$（环）	2	0.011	0.154	36	0.022	0.308	72
$HC=$（环）	4	0.011	0.154	37	0.044	0.616	148
总和					0.106	1.378	330

表 1-2　临界性质增量——Lydersen 结构贡献

结　构	ΔT	ΔP	ΔV
	非环增量		
$-CH_3$	0.020	0.227	55
$-\overset{\vert}{C}H_2$	0.020	0.227	55

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com