

# 化学工程师 简明手册

■ 邓忠 康天源 主编

---

HUAXUE GONGCHENGSHI  
JIANMING SHOUC

机械工业出版社

# 化学工程师简明手册

邓 忠 康天源 主编



机械工业出版社

《化学工程师简明手册》共 22 章，内容包括化学工艺流程中，每个单元过程的机理、设计计算和相关设备，以及化学工程常用材料和化学工程师在工作中常用的其他基础数据、公式、图表等。

本书可供化工、石油、轻工等行业及其相关工业部门的技术人员和有关院校师生参考。

## 图书在版编目 (CIP) 数据

化学工程师简明手册/邓忠，康天源主编. -北京：机械工业出版社，1997.7

ISBN 7-111-06050-4

I. 化… I. ①邓… ②康… III. 化学工程-手册  
IV. TQ-61

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (97) 第 28356 号

出 版 人：马九荣 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑：李正民 版式设计：张世琴 责任校对：刘志文

封面设计：郭景云 责任印制：王国光

煤炭工业出版社印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

1998 年 9 月第 1 版第 1 次印刷

787mm×1092mm<sup>1/32</sup>·35.125 印张·3 插页·994 千字

0 001—3000 册

定价：62.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

## 前 言

化学工程是就化学工业及其相关工业中有关化学、物理过程的共同规律进行研究的一门工程学科。在工程上，化学过程和物理过程有时是同时发生的，通过对这些过程的研究，并将其结果应用到工程实际中去，就可达到优化化工生产的目的，取得良好的社会效益。

随着化学工程技术的发展，化学工程逐渐奠定了其理论基础，单元操作、化学反应工程、传递过程、化工热力学、化工系统工程、化工过程动态学和控制等分支学科相继出现。这些学科的出现和发展，反过来又进一步促进了化学工程技术的更大进步。正是在这种背景下，1901年C.E. 戴维斯著的《化学工程手册》首先在英国出版；1934年J.H. 佩里主编的《化学工程师手册》在美国问世，至1984年已出到第六版；在我国，1989年出版了六卷本的《化学工程手册》，这部手册总结了我国化学工程学科在科研、设计和生产领域的成果，向读者提供了理论知识、实用方法和数据，使得广大读者受益匪浅，成为读者的良师益友。

上述手册均属经典之作，对广大化学工程工作者大有裨益。但由于这些手册篇幅浩瀚，对现场技术人员的使用颇多不便，希望能有一本简明、实用、便于携带与查阅的手册面世。为此，我们编写了《化学工程师简明手册》。这本手册结合化工生产的实际，以化工过程的单元操作为主，以常用数据、实用公式、关键技术等为重点，对化学工程知识做了扼要介绍，以便更好地起到启发、提示和备查的作用。

《化学工程师简明手册》由邓忠、康天源主编，全书共计22章。第一、二、四、六、七、八、九、十、二十二章由康天源编写，第十五、十六、十七、十八、十九、二十章由杨益中编写，第三、十一、十二、十三、十四章由李仁金编写，第二十一章由魏立藩编写，第五章由刘智勇、李建平、戴晓洲编写。

限于作者的水平，挂一漏万与不妥之处在所难免，敬请广大读者提出批评意见，以便再版时更臻完善。

邓忠 康天源

1997年9月

# 目 录

## 前言

|                      |           |
|----------------------|-----------|
| <b>第一章 化工基础数据</b>    | <b>1</b>  |
| 1 法定计量单位及单位换算        | 1         |
| 1.1 法定计量单位           | 1         |
| 1.2 单位换算             | 4         |
| 2 特征数                | 15        |
| 3 通用常数               | 18        |
| 4 标准筛筛号对照            | 18        |
| 5 常用物质的主要物理性质        | 22        |
| <b>第二章 化工应用数学</b>    | <b>31</b> |
| 1 代数                 | 31        |
| 1.1 因式分解             | 31        |
| 1.2 方程的解             | 32        |
| 1.3 级数               | 34        |
| 2 几何                 | 35        |
| 2.1 常用几何图形面积         | 35        |
| 2.2 常用几何体的面积、体积及质心位置 | 38        |
| 3 微积分                | 42        |
| 3.1 微分法则和导数基本公式      | 42        |
| 3.2 不定积分法则和公式        | 42        |
| 3.3 定积分              | 44        |
| 4 常微分方程              | 45        |
| 4.1 一阶微分方程           | 45        |
| 4.2 二阶微分方程           | 47        |

|            |                     |           |
|------------|---------------------|-----------|
| 5          | 拉普拉斯变换 .....        | 48        |
| 5.1        | 拉氏变换的性质 .....       | 48        |
| 5.2        | 拉氏变换简表 .....        | 49        |
| 6          | 矩阵 .....            | 53        |
| 6.1        | 矩阵的概念 .....         | 53        |
| 6.2        | 矩阵运算式及其性质 .....     | 56        |
| 6.3        | 矩阵的初等变换 .....       | 56        |
| 6.4        | 逆矩阵 .....           | 62        |
| 6.5        | 线性方程组 .....         | 62        |
| 7          | 概率论与数理统计 .....      | 63        |
| 7.1        | 概率的定义 .....         | 63        |
| 7.2        | 概率的基本性质 .....       | 64        |
| 7.3        | 概率的基本运算 .....       | 64        |
| 7.4        | 常用的概率分布 .....       | 70        |
| 7.5        | 样本特征数 .....         | 70        |
| 7.6        | 误差计算 .....          | 71        |
| <b>第三章</b> | <b>化工热力学 .....</b>  | <b>72</b> |
| 1          | 热力学基本定律的应用 .....    | 72        |
| 1.1        | 热力学第一定律的应用 .....    | 72        |
| 1.2        | 热力学第二定律的应用 .....    | 76        |
| 2          | 常用热力学公式 .....       | 77        |
| 2.1        | 热力学的通用关系式 .....     | 77        |
| 2.2        | 理想气体的热力学关系式 .....   | 80        |
| 3          | 纯物质的热力学性质计算 .....   | 81        |
| 3.1        | 流体的压力、体积、温度计算 ..... | 81        |
| 3.2        | 焓变化、熵变化计算 .....     | 114       |
| 3.3        | 内能变化计算 .....        | 123       |
| 3.4        | 热容计算 .....          | 124       |
| 3.5        | 热力学性质图的使用 .....     | 141       |

|                          |            |
|--------------------------|------------|
| 3.6 逸度和逸度系数计算 .....      | 141        |
| 4 混合物的热力学性质计算 .....      | 145        |
| 4.1 偏摩尔量间的热力学关系式 .....   | 145        |
| 4.2 理想混合物 .....          | 145        |
| 4.3 逸度及逸度系数 .....        | 146        |
| 4.4 活度及活度系数 .....        | 151        |
| 5 过程热力学分析 .....          | 173        |
| 5.1 理想功 .....            | 173        |
| 5.2 损失功 .....            | 174        |
| 5.3 有效能分析 .....          | 175        |
| 5.4 分离过程功 .....          | 177        |
| 6 气-液平衡计算 .....          | 177        |
| 6.1 低压下的气液平衡计算 .....     | 177        |
| 6.2 中低压下的泡点及闪蒸计算 .....   | 178        |
| 6.3 高压下的气液平衡计算 .....     | 182        |
| <b>第四章 流体流动及管路 .....</b> | <b>188</b> |
| 1 流体流动 .....             | 188        |
| 1.1 流体流动的基本微分方程 .....    | 188        |
| 1.2 流动系统总能量衡算式 .....     | 189        |
| 1.3 流动系统机械能衡算式 .....     | 189        |
| 1.4 伯努利方程式 .....         | 190        |
| 1.5 层流流动 .....           | 190        |
| 1.6 湍流流动 .....           | 190        |
| 1.7 边界层流动 .....          | 190        |
| 2 管路 .....               | 192        |
| 2.1 阻力计算 .....           | 192        |
| 2.2 管路计算 .....           | 203        |
| 2.3 常用管及其管件 .....        | 207        |
| 2.4 管路常用流体速度 .....       | 217        |

|                        |            |
|------------------------|------------|
| 3 气液两相流动 .....         | 222        |
| 3.1 水平管气液两相流动 .....    | 222        |
| 3.2 垂直管气液两相流动 .....    | 227        |
| 4 非牛顿流体流动 .....        | 233        |
| <b>第五章 压缩机和泵 .....</b> | <b>234</b> |
| 1 压缩机 .....            | 234        |
| 1.1 活塞式压缩机 .....       | 234        |
| 1.2 离心式压缩机 .....       | 276        |
| 2 泵 .....              | 315        |
| 2.1 泵的分类及其工作原理 .....   | 315        |
| 2.2 泵型式的选择 .....       | 315        |
| 2.3 离心泵 .....          | 320        |
| <b>第六章 搅拌 .....</b>    | <b>350</b> |
| 1 搅拌及其分类 .....         | 350        |
| 2 搅拌器的型式及选型 .....      | 350        |
| 2.1 搅拌器的型式 .....       | 350        |
| 2.2 搅拌器的选型 .....       | 350        |
| 3 均相搅拌 .....           | 363        |
| 3.1 排出流量数和循环流量数 .....  | 363        |
| 3.2 平均循环时间 .....       | 364        |
| 3.3 功率计算 .....         | 367        |
| 3.4 表面传热系数关联式 .....    | 374        |
| 4 搅拌器附件 .....          | 376        |
| 4.1 挡板 .....           | 376        |
| 4.2 蛇管 .....           | 378        |
| 4.3 导流筒 .....          | 378        |
| <b>第七章 传热 .....</b>    | <b>379</b> |
| 1 基本方式 .....           | 379        |
| 1.1 热传导 .....          | 379        |

|      |                         |     |
|------|-------------------------|-----|
| 1.2  | 对流传热 .....              | 379 |
| 1.3  | 辐射传热 .....              | 379 |
| 2    | 传热计算 .....              | 380 |
| 2.1  | 热量衡算 .....              | 380 |
| 2.2  | 传热方程式 .....             | 380 |
| 2.3  | 总传热系数 .....             | 380 |
| 2.4  | 平均温度差 .....             | 381 |
| 2.5  | 壁温 .....                | 398 |
| 2.6  | 污垢热阻 .....              | 399 |
| 3    | 热传导 .....               | 400 |
| 3.1  | 傅里叶定律 .....             | 400 |
| 3.2  | 热导率 .....               | 401 |
| 3.3  | 稳定热传导 .....             | 406 |
| 4    | 对流传热 .....              | 407 |
| 4.1  | 无相变换热器的表面传热系数 .....     | 408 |
| 4.2  | 纯饱和蒸气冷凝器的表面传热系数 .....   | 410 |
| 4.3  | 釜式重沸器的表面传热系数 .....      | 413 |
| 4.4  | 螺旋管式换热器的表面传热系数 .....    | 414 |
| 4.5  | 螺旋板式换热器的表面传热系数 .....    | 416 |
| 4.6  | 板式换热器的表面传热系数 .....      | 418 |
| 4.7  | 套管式换热器的表面传热系数 .....     | 419 |
| 4.8  | 液膜式冷却(冷凝)器的表面传热系数 ..... | 421 |
| 4.9  | 刮板式换热器的表面传热系数 .....     | 423 |
| 4.10 | 刮板式液膜换热器的表面传热系数 .....   | 424 |
| 4.11 | 板翅式换热器的表面传热系数 .....     | 424 |
| 5    | 辐射传热 .....              | 424 |
| 5.1  | 基本定律 .....              | 425 |
| 5.2  | 两固体间的辐射传热 .....         | 425 |
| 5.3  | 气体辐射传热 .....            | 435 |

|                            |     |
|----------------------------|-----|
| 5.4 火焰辐射传热 .....           | 437 |
| <b>第八章 换热器</b> .....       | 439 |
| 1 换热器的分类及性能 .....          | 439 |
| 2 管壳式换热器及其零部件 .....        | 448 |
| 3 管壳式换热器的设计计算 .....        | 448 |
| 3.1 表面传热系数 .....           | 448 |
| 3.2 压力损失 .....             | 456 |
| 4 换热器的最优化 .....            | 468 |
| 4.1 冷却器冷却水最佳出口温度 .....     | 469 |
| 4.2 无相变单台换热器废热最佳回收条件 ..... | 469 |
| <b>第九章 燃烧及化工工业炉</b> .....  | 470 |
| 1 燃料 .....                 | 470 |
| 1.1 气体燃料 .....             | 470 |
| 1.2 液体燃料 .....             | 470 |
| 1.3 固体燃料 .....             | 473 |
| 2 燃烧及热平衡计算 .....           | 474 |
| 2.1 基础换算 .....             | 474 |
| 2.2 燃料发热量的计算 .....         | 475 |
| 2.3 燃烧用空气量计算 .....         | 478 |
| 2.4 烟气生成量计算 .....          | 481 |
| 2.5 燃烧温度计算 .....           | 482 |
| 2.6 热平衡计算 .....            | 482 |
| 3 工业炉 .....                | 487 |
| 3.1 工业炉的类型 .....           | 487 |
| 3.2 工业炉的热效率 .....          | 489 |
| 3.3 管式加热炉 .....            | 489 |
| 4 燃烧器 .....                | 502 |
| 4.1 气体燃烧器 .....            | 502 |
| 4.2 液体燃烧器 .....            | 507 |

|                               |            |
|-------------------------------|------------|
| 4.3 粉煤燃烧器 .....               | 515        |
| <b>第十章 蒸发</b> .....           | <b>518</b> |
| 1 蒸发器的选型 .....                | 518        |
| 2 蒸发器的设计计算 .....              | 518        |
| 2.1 蒸发的基本计算 .....             | 518        |
| 2.2 总传热系数 .....               | 518        |
| 2.3 有效温度差 .....               | 521        |
| 3 单效蒸发器 .....                 | 522        |
| 3.1 物料衡算 .....                | 522        |
| 3.2 热量衡算 .....                | 523        |
| 4 多效蒸发装置 .....                | 525        |
| 4.1 物料衡算 .....                | 525        |
| 4.2 热量衡算 .....                | 526        |
| 4.3 传热速率方程及有效温度差在各效中的分配 ..... | 527        |
| 4.4 有效总温度差 .....              | 528        |
| 5 降膜式蒸发器 .....                | 534        |
| 5.1 最小降液密度及极限热负荷 .....        | 534        |
| 5.2 管内液膜表面传热系数和液膜厚度 .....     | 536        |
| 5.3 管外蒸汽冷凝表面传热系数 .....        | 539        |
| 5.4 压力损失 .....                | 540        |
| 5.5 液膜的表面温度 .....             | 541        |
| 5.6 液体分布器 .....               | 542        |
| 6 刮板式蒸发器 .....                | 547        |
| 6.1 热流量 .....                 | 548        |
| 6.2 液膜厚度 .....                | 548        |
| 6.3 夹套内蒸汽冷凝表面传热系数 .....       | 549        |
| 6.4 筒体内料液表面传热系数 .....         | 549        |
| 6.5 总传热系数 .....               | 549        |
| 6.6 料液的滞留量及停留时间 .....         | 550        |

|                               |            |
|-------------------------------|------------|
| 6.7 刮板的驱动功率 .....             | 550        |
| <b>第十一章 传质 .....</b>          | <b>554</b> |
| 1 传质及其过程求解模式 .....            | 554        |
| 1.1 按扩散过程分析的模型 .....          | 554        |
| 1.2 按传质过程分析的模型 .....          | 554        |
| 2 分子扩散系数计算 .....              | 557        |
| 2.1 双组分混合物的浓度、扩散速度与扩散通量 ..... | 557        |
| 2.2 气体扩散系数计算 .....            | 558        |
| 2.3 液体扩散系数 .....              | 577        |
| 2.4 电解质溶液扩散系数 .....           | 580        |
| 3 传质系数计算 .....                | 584        |
| 3.1 传质系数的不同表示方法 .....         | 584        |
| 3.2 传质系数的实验测定 .....           | 585        |
| 3.3 对流传质系数关系式 .....           | 585        |
| 4 传质过程的强化途径 .....             | 589        |
| <b>第十二章 气体吸收 .....</b>        | <b>590</b> |
| 1 概述 .....                    | 590        |
| 1.1 吸收流程 .....                | 590        |
| 1.2 吸收剂的选择 .....              | 590        |
| 1.3 吸收设备 .....                | 591        |
| 2 气液平衡关系 .....                | 591        |
| 2.1 亨利定律 .....                | 591        |
| 2.2 气体在液体中的溶解度 .....          | 592        |
| 2.3 相平衡与吸收过程的关系 .....         | 606        |
| 3 吸收过程计算 .....                | 606        |
| 3.1 操作线方程 .....               | 606        |
| 3.2 吸收剂用量与最小液气比 .....         | 607        |
| 4 填料吸收塔设计 .....               | 615        |
| 4.1 填料塔设计的一般原则 .....          | 615        |

|             |                      |            |
|-------------|----------------------|------------|
| 4.2         | 填料的选择 .....          | 616        |
| 4.3         | 操作气速的选取 .....        | 616        |
| 4.4         | 塔径计算 .....           | 618        |
| 4.5         | 流体力学计算 .....         | 619        |
| 4.6         | 传质及填料层高度计算 .....     | 623        |
| 5           | 填料塔附属机构 .....        | 636        |
| 5.1         | 填料支承板 .....          | 636        |
| 5.2         | 液体分布装置 .....         | 639        |
| 5.3         | 液体再分布装置 .....        | 640        |
| 5.4         | 液体出口装置 .....         | 640        |
| 5.5         | 气体进塔装置 .....         | 640        |
| 5.6         | 除雾器 .....            | 641        |
| 5.7         | 压板及床层限制板 .....       | 643        |
| 5.8         | 填料塔设计程序 .....        | 648        |
| <b>第十三章</b> | <b>蒸馏 .....</b>      | <b>650</b> |
| 1           | 单级分离 .....           | 650        |
| 1.1         | 气液平衡关系式 .....        | 650        |
| 1.2         | 露点温度与泡点温度 .....      | 651        |
| 1.3         | 多组分单级分离 .....        | 651        |
| 2           | 连续蒸馏计算 .....         | 656        |
| 2.1         | 简捷计算法 .....          | 656        |
| 2.2         | 逐板计算法 .....          | 664        |
| 2.3         | 塔板效率 .....           | 674        |
| 3           | 精馏过程的节能 .....        | 676        |
| 3.1         | 分离过程的热力学效率 .....     | 676        |
| 3.2         | 提高精馏过程热力学效率的途径 ..... | 677        |
| 3.3         | 多组分精馏塔序的选择 .....     | 677        |
| 4           | 板式蒸馏塔设计 .....        | 678        |
| 4.1         | 塔盘选择 .....           | 678        |

|                         |            |
|-------------------------|------------|
| 4.2 塔径及塔盘间距估算 .....     | 682        |
| 4.3 塔盘板设计 .....         | 685        |
| 4.4 降液管及受液盘 .....       | 697        |
| 4.5 溢流堰 .....           | 699        |
| 4.6 塔盘板上的其他部分 .....     | 702        |
| 4.7 筛板塔设计 .....         | 702        |
| 4.8 浮阀塔设计 .....         | 713        |
| <b>第十四章 萃取</b> .....    | <b>726</b> |
| 1 概述 .....              | 726        |
| 1.1 萃取器类型 .....         | 726        |
| 1.2 萃取器的选择 .....        | 727        |
| 1.3 连续相选择原则 .....       | 727        |
| 1.4 萃取剂的选择 .....        | 727        |
| 1.5 应用范围 .....          | 731        |
| 2 萃取计算 .....            | 731        |
| 2.1 基本原理 .....          | 731        |
| 2.2 单级萃取计算 .....        | 733        |
| 2.3 多级萃取计算 .....        | 737        |
| 2.4 微分式萃取计算 .....       | 747        |
| 3 萃取器设计计算 .....         | 754        |
| 3.1 混合澄清器 .....         | 754        |
| 3.2 转盘塔 .....           | 766        |
| <b>第十五章 干燥</b> .....    | <b>774</b> |
| 1 概述 .....              | 774        |
| 1.1 物料干燥特性及干燥特性曲线 ..... | 774        |
| 1.2 含水率 .....           | 775        |
| 1.3 恒速干燥速度 .....        | 777        |
| 1.4 降速干燥速度 .....        | 780        |
| 1.5 湿度图 .....           | 782        |

|                           |            |
|---------------------------|------------|
| 2 常用干燥器 .....             | 784        |
| 2.1 箱式干燥器 .....           | 784        |
| 2.2 喷射流干燥器 .....          | 786        |
| 2.3 移动床干燥器 .....          | 786        |
| 2.4 槽型搅拌干燥器 .....         | 786        |
| 2.5 回转干燥器 .....           | 792        |
| 2.6 振动流动干燥器 .....         | 798        |
| 2.7 流化床干燥器 .....          | 798        |
| 2.8 热风输入干燥器 .....         | 803        |
| 2.9 接触加热型圆筒干燥器 .....      | 808        |
| 2.10 远红外线干燥器 .....        | 810        |
| 2.11 通风带式干燥器 .....        | 811        |
| 3 干燥器的选择及概算 .....         | 812        |
| 3.1 干燥器的选择 .....          | 812        |
| 3.2 装置大小的概算 .....         | 813        |
| 4 干燥系统 .....              | 817        |
| 4.1 热源 .....              | 817        |
| 4.2 进、排料装置 .....          | 818        |
| 5 干燥器的热效率 .....           | 819        |
| <b>第十六章 吸附及离子交换 .....</b> | <b>827</b> |
| 1 吸附 .....                | 827        |
| 1.1 吸附平衡 .....            | 827        |
| 1.2 吸附分离的应用 .....         | 830        |
| 1.3 吸附剂 .....             | 831        |
| 1.4 吸附设备 .....            | 832        |
| 1.5 变压吸附 .....            | 838        |
| 2 离子交换 .....              | 841        |
| 2.1 离子交换剂 .....           | 842        |
| 2.2 离子交换器及其设计 .....       | 842        |

|                            |            |
|----------------------------|------------|
| 2.3 应用实例 .....             | 863        |
| <b>第十七章 流态化 .....</b>      | <b>868</b> |
| 1 流态化定义与现象 .....           | 868        |
| 2 流态化技术的应用 .....           | 871        |
| 2.1 流态化技术的特点 .....         | 871        |
| 2.2 流态化技术的应用实例 .....       | 871        |
| 3 流态化的操作特性 .....           | 874        |
| 3.1 操作速度 .....             | 874        |
| 3.2 临界流态化速度 .....          | 874        |
| 3.3 颗粒终端速度 .....           | 876        |
| 3.4 固定床的压力降 .....          | 877        |
| 4 流化床设计 .....              | 879        |
| 4.1 床型 .....               | 879        |
| 4.2 床身 .....               | 879        |
| 4.3 分布板 .....              | 883        |
| 5 气力输送装置 .....             | 891        |
| 5.1 气力输送装置的类型 .....        | 891        |
| 5.2 气力输送装置的设计 .....        | 902        |
| <b>第十八章 气态非均一系分离 .....</b> | <b>908</b> |
| 1 概述 .....                 | 908        |
| 2 气态非均一系分离设备 .....         | 908        |
| 2.1 气态非均一系分离设备的选择 .....    | 908        |
| 2.2 分离效率 .....             | 910        |
| 3 旋风分离器 .....              | 914        |
| 3.1 工作原理及分类 .....          | 914        |
| 3.2 结构尺寸及其对性能的影响 .....     | 916        |
| 3.3 设计计算 .....             | 917        |
| 3.4 螺旋型旋风分离器 .....         | 919        |
| 3.5 蜗旋型旋风分离器 .....         | 922        |