

〔德意志民主共和国〕

阿尔伯特·赖特荷尔德 主编

实用化学化工计算

第四次修订版

化学工业出版社

实用化学化工计算

第四次修订版

德意志民主共和国 阿尔伯特·赖特荷尔德
西格弗里德·比尔
赫尔伯特·孟克尔特 编
罗尔夫·奥比兹
罗湘仁 译

化学工业出版社

第 三 版 前 言

化学生产的掌握和控制，在现在和将来都愈来愈需要知识、经验和技能。现代技术愈来愈决定着社会主义生产的特性。但是只有当技术人员懂得创造性地和根据实际情况来利用所获得的知识时，现代技术才能发挥出其最理想的效率。因此，化学工业中现有的徒工、未来社会主义的技术工人以及生产过程操作管理人员，必须在具有科学的世界观和社会主义劳动态度的基础上，拥有专业知识和良好的技能，以胜任赋予他们的任务。

现在出版的《计算实践》第三版在培训方面应对实现这些要求作出贡献。本版对《计算实践》这个书名作了修改，现在改为《实用化学化工计算》。书名的改变同时也表示了这么一层意思：这本对培训工作不可缺少的《专业和练习手册》，也可以作为各种专业部门化验员和化工技术工人必读的专业文献。

作者对本版的内容作了广泛的修订。删去了部分材料，并根据需要对某些部分作了补充或增加了新的内容。但是对本书的特点并未作大的改动。像原先一样，《实用化学化工计算》一书没有放进经济作业，例如计划指标、关于生产的百分比、完成劳动生产率等的作业。这些作业应当由老师自己结合企业当前的指标提出来。基于同样的意图，化学或物理方面的必要的基本关系也没有详加阐述和引伸，因为这些内容可以在有关必读教材文献中查阅。

化学工程师盖哈特·列支从化学生产技术工人的角度，职业学校专业教师阿明·伯恩哈特从化验员的角度（这两位行家是国营莱那“瓦尔特尔·乌布利希”工厂职业学校的教师），以及国营“五·八”特种钢厂的化学工程师罗·克劳斯·勒特审阅和鉴定了本书第三版全稿。他们

第 三 版 前 言

化学生产的掌握和控制，在现在和将来都愈来愈需要知识、经验和技能。现代技术愈来愈决定着社会主义生产的特性。但是只有当技术操作人员懂得创造性地和根据实际情况来利用所获得的知识时，现代技术才能发挥出其最理想的效率。因此，化学工业中现有的徒工、未来社会主义的技术工人以及生产过程操作管理人员，必须在具有科学的世界观和社会主义劳动态度的基础上，拥有专业知识和良好的技能，以胜任赋予他们的任务。

现在出版的《计算实践》第三版在培训方面应对实现这些要求作出贡献。本版对《计算实践》这个书名作了修改，现在改为《实用化学化工计算》。书名的改变同时也表示了这么一层意思：这本对培训工作不可缺少的《专业和练习手册》，也可以作为各种专业部门化验员和化工技术工人必读的专业文献。

作者对本版的内容作了广泛的修订。删去了部分材料，并根据需要对某些部分作了补充或增加了新的内容。但是对本书的特点并未作大的改动。像原先一样，《实用化学化工计算》一书没有放进经济作业，例如计划指标、关于生产的百分比、完成劳动生产率等的作业。这些作业应当由老师自己结合企业当前的指标提出来。基于同样的意图，化学或物理方面的必要的基本关系也没有详加阐述和引伸，因为这些内容可以在有关必读教材文献中查阅。

化学工程师盖哈特·列支从化学生产技术工人的角度，职业学校专业教师阿明·伯恩哈特从化验员的角度（这两位行家是国营莱那“瓦尔特尔·乌布利希”工厂职业学校的教师），以及国营“五·八”特种钢厂的化学工程师罗·克劳斯·勒特审阅和鉴定了本书第三版全稿。他们

对本书提出了许多改进意见和建议，出版社和作者谨此表示感谢。

出版社和作者也恳请读者对本书提出宝贵意见和建议，以便进一步加以改进。仅此预致谢意。

出版社和作者

第 四 版 前 言

从《实用化学化工计算》一书迄今所博得的好评中可以看到，此书已良好地完成了它的使命。与第三版相比，第四版没有很大的改动。承蒙读者指正，使某些错误之处得到了改正。此外，一些符号按现行的德意志民主共和国国家标准作了某些修改。据我们估计，这样就把现在综合技术学校和专业文献中使用的符号统一起来了。

为了满足读者的愿望，我们编了一个技术术语索引。这样，自学者和选择要点学习的人即可按类求索，不必再费大量时间。对书中采用的主要国际单位制，我们编了一个小的换算表，读者在必要时很方便地进行必要的换算。出版社和作者欢迎广大读者今后提出意见和建议，特此仅致谢忱。我们还特别恳请化工部门的教育机构向有关专业委员会或直接向本社提出意见。

出版社和作者

目 录

本书使用单位说明	(1)
导言与用法说明	(2)
第一章 质量、体积、密度及溶液的浓度	(4)
第一节 定义、公式符号、单位	(4)
第二节 体积与温度的关系	(9)
第三节 固体、液体和气体物质密度测定方法的计算基础	(11)
第四节 溶液浓度的计算	(15)
第五节 浓度单位之间的关系和换算	(23)
第六节 混合计算	(30)
第七节 习 题	(39)
第二章 化学式的数量意义	(44)
第一节 化合物组份百分比的计算	(44)
第二节 根据分析数据列出化合物的化学式	(50)
第三节 重量分析计算	(53)
3-1 重量分析的计算基础	(53)
3-2 图表与计算表的应用	(55)
3-3 从原始溶液中取出部分溶液进行多项重量分析测定	(57)
第四节 习 题	(59)
第三章 气体定律	(62)
第一节 用数学概念阐述理想气体的气体定律	(62)
第二节 在各种不同状态条件下气体数量与状态参数的换算	(64)
第三节 分压定律	(69)
3-1 混合气体中浓度与分压之间的关系	(69)
3-2 湿气体, 水蒸汽压	(72)
第四节 燃烧法测定气体氢和甲烷的计算	(74)
4-1 混合气体中氢含量的测定	(74)
4-2 混合气体中甲烷含量的测定	(75)
4-3 混合气体中氢气和甲烷含量的测定	(76)
第五节 绝热的和多变的状态变化	(77)
第六节 实际气体状态方程式的计算应用	(81)

第七节 习 题	(85)
第四章 化学反应中物质置换的计算	(89)
第一节 纯物质的简单反应	(89)
第二节 不纯物或溶解物的简单反应	(91)
第三节 复分解反应	(94)
第四节 转换损失——转化率计算	(96)
第五节 计算方法概述, 计算程序, 解答形式	(99)
第六节 在标准条件下气体的置换	(103)
第七节 在各种不同状态条件下气体的化学反应	(107)
第八节 习 题	(110)
第五章 质量作用定律的应用	(116)
第一节 均相气体反应	(116)
1-1 平衡常数 K_c , K_p 和 K_x 的计算	(117)
1-2 各种平衡常数之间的关系(换算)	(120)
1-3 平衡状态时物质数量的计算	(123)
第二节 液态平衡	(128)
2-1 酯化作用	(128)
2-2 转化率的计算——反应条件的最优化	(133)
第三节 习 题	(135)
第四节 电解溶液的平衡	(136)
4-1 奥斯特瓦尔德稀释定律的计算	(137)
4-2 H^+ 和 OH^- 离子浓度以及pH值的计算	(138)
4-3 pH值, 氢离子浓度和当量浓度的关系	(142)
4-4 水解盐溶液的pH值	(145)
4-5 缓冲溶液的pH值	(147)
4-6 溶度积的计算	(149)
第五节 习 题	(153)
第六章 容量分析	(156)
第一节 容量分析方法的基本原理	(156)
第二节 概念、定义、测试参数、定量关系	(157)
第三节 容量分析溶液的计算	(159)
3-1 标准溶液的制备	(159)

3-2	当量浓度系数的计算和当量浓度精确值的标定	(160)
3-3	容量瓶、移液管和滴定管体积误差的鉴定	(163)
第四节	容量分析计算	(170)
4-1	简单的直接滴定	(170)
4-2	反滴定	(175)
4-3	容量分析的重复测定和联合测定	(176)
第五节	习 题	(179)
第七章	图表和图解法的应用及计算示例——列线图	(188)
第一节	基 础	(188)
1-1	函数、数值表、函数图	(188)
1-2	图解内插法和外推法	(190)
1-3	非线性函数线图的改进	(192)
第二节	曲线图的绘制	(198)
2-1	连续分析快速计算图	(199)
2-2	溶解度曲线	(201)
2-3	沸点曲线图	(203)
2-4	气态曲线图	(204)
第三节	曲线图的运用	(205)
第四节	曲线是计算的辅助方法	(207)
第五节	图解显示数量	(211)
第六节	列线图	(213)
第七节	习 题	(216)
第八章	化工分析的计算	(225)
第一节	各种残留物的测定	(225)
1-1	干燥法测定水份	(225)
1-2	二甲苯法测定水份	(226)
1-3	蒸发残留物和蒸发损失	(226)
1-4	灰份含量、灼烧残渣	(227)
1-5	萃取后剩余物	(227)
1-6	习 题	(228)
第二节	分馏分析和筛析结果的概述和图示法	(229)
2-1	分馏分析	(229)

2-2	筛析	(231)
2-3	习题	(234)
第三节	皂化值、中和值、酸值、羟值、碘值	(236)
3-1	皂化值	(236)
3-2	中和值	(237)
3-3	羟值	(239)
3-4	碘值	(240)
3-5	习题	(242)
第四节	粘度测定	(243)
4-1	各种方法测定粘度结果的计算	(243)
4-2	单位之间的关系	(244)
4-3	习题	(246)
第五节	固态、液态和气态燃料热值的计算	(248)
5-1	热量计算	(248)
5-2	根据热量分析计算热值	(250)
1.	用“容卡洛”热量计测定固体物质热值的计算	(250)
2.	用“容卡洛”热量计测定气态燃料热值的计算	(252)
5-3	根据固体物质的元素分析结果或气体分析、气相色谱 分析的结果计算热值	(255)
5-4	习题	(256)
第九章	物理化学测定的计算	(258)
第一节	摩尔质量的测定	(258)
1-1	根据拉乌耳定律(冰点降低测定法, 沸点升高测定法) 测定摩尔质量	(258)
1-2	按照理想气体状态方程式测定摩尔质量(维·迈尔法、 杜马法)	(260)
1-3	粘度测定法测定大分子物质的摩尔质量、聚合度的计算	(261)
1-4	习题	(264)
第二节	化学-光学测量法	(265)
2-1	比色法和光度法	(265)
2-2	偏振光测定法	(269)
2-3	折光测定法	(270)

2-4	习 题	(273)
第三节	电位测定法	(274)
3-1	电导测量	(274)
3-2	测量电位和电导以指示当量点	(281)
1.	电位法确定当量点	(281)
2.	电导法确定当量点	(284)
3-3	习 题	(285)
第四节	法拉第定律的计算	(287)
4-1	电化当量的计算	(288)
4-2	法拉第第二定律的计算	(289)
4-3	用电化当量表计算	(289)
4-4	电能, 效率, 成本核算	(297)
4-5	沉积量和层厚的计算	(301)
4-6	工业电解的计算	(303)
4-7	习 题	(307)
4-8	用能斯特方程式计算电动势	(309)
4-9	习 题	(310)
第十章	化工计算示例和习题	(311)
第一节	功功率效率	(311)
1-1	计算单位	(311)
1-2	效 率	(316)
1-3	习 题	(318)
第二节	气体和液体流动的规律性	(319)
2-1	流量的计算	(319)
2-2	流速(连续性方程)的计算	(320)
2-3	贮罐的充注	(321)
2-4	伯努利方程式	(322)
2-5	雷诺数	(325)
2-6	管道中压力损失的计算	(327)
1.	直线管道的压力损失	(327)
2.	由于管道改变方向和安装的管件而造成的压力损失	(329)
3.	水平管道的总压力损失	(331)

2-7 习 题	(332)
第三节 液体的输送	(337)
3-1 扬 程	(337)
3-2 活塞泵	(339)
3-3 涡轮泵	(342)
3-4 习 题	(344)
第四节 热工计算	(347)
4-1 热 量	(347)
1. 比 热	(347)
2. 转化热	(349)
4-2 热传递	(350)
1. 传 热	(350)
2. 导 热	(351)
3. 传热计算	(353)
4-3 换热器	(353)
4-4 作为能源的水蒸汽	(359)
1. 普通原理	(359)
2. 热量的参数	(360)
3. 蒸汽的状态	(360)
4. $t-h$ 曲线	(367)
4-5 习 题	(372)
第五节 蒸 馏	(378)
5-1 由两种组分溶解在一起组成的混合物	(379)
5-2 互不溶性组分的混合物	(384)
5-3 习 题	(387)
第六节 吸收和萃取	(392)
6-1 气体在液体中的吸收	(392)
6-2 液体萃取	(396)
6-3 习 题	(400)
习题答案	(403)
技术术语索引	(429)
本书所用重要符号说明	(440)

本书使用单位说明

本书各章习题中的数值均采用目前通用的单位,例如压力为 kg(f) 、 cm^2 , at , Torr (托) 等等, 热导率为 $\text{kcal} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{h}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$, 比热为 $\text{cal} \cdot \text{g}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$ 等等。这些单位目前还在使用, 但是从一九八〇年开始德意志民主共和国将采用国际单位制(代号为SI)。

力的单位, 压力单位, 能量单位以及其他只是在技术上所用的单位(例如克力, 物理气压, 工程气压, 米水柱, 毫米水银柱, 托, 泊, 沱, 卡等等) 均属在国际单位制中不再采用的单位。

目前还在使用, 但将来不再使用的单位和今后将采用的国际单位制单位之间的关系可参见下列对照表(也参见表1-8)。但是学员, 特别是教师, 应当熟悉使用国际单位制, 因为今后在文献中只使用这些单位。

目前通用的几种单位与相应的国际单位制单位对照表

名 称	国 际 单 位 制 单 位	目前使用的单位	对 应 关 系
密 度 ρ	千克/米 ³ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$	克/厘米 ³ $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3} = \text{g} \cdot \text{ml}^{-1}$	$1 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3} = 10^{-3} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$
力 F	牛 顿 $\text{N} = \text{m} \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-2}$	克力, 千克力 $\text{g(f)} \quad \text{kg(f)}$	$1 \text{ N} = 0.1020 \text{ kg (f)}$
压 力 p	帕斯卡, 巴 $\text{Pa} = \text{N} \cdot \text{m}^{-2}$ $\text{bar} = 10^5 \text{ Pa}$	工程大气压 at 标准大气压 atm Torr (托)	$1 \text{ bar} = 1.020 \text{ at}$ $1 \text{ bar} = 0.9869 \text{ atm}$ $1 \text{ bar} = 750.7 \text{ Torr}$
动力粘度 η	牛顿秒/米 ² , 帕斯卡秒 $\text{N} \cdot \text{s} \cdot \text{m}^{-2} = \text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$	泊, 分泊 $\text{P} \quad \text{cP}$	$1 \text{ N} \cdot \text{s} \cdot \text{m}^{-2} = 10 \text{ P}$ $1 \text{ N} \cdot \text{s} \cdot \text{m}^{-2} = 10^3 \text{ cP}$
运动粘度 ν	米 ² /秒 $\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1} = \frac{\text{N} \cdot \text{s} \cdot \text{m}^{-2}}{\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}}$	沱 St	$1 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1} = 10^4 \text{ St}$
功 W_M , 能 W , 热量 Q	焦耳 = 瓦秒 $\text{J} = \text{W} \cdot \text{s} = \text{N} \cdot \text{m}$	卡, 千卡 $\text{cal} \quad \text{kcal}$	$1 \text{ J} = 0.2388 \text{ cal}$ $1 \text{ kJ} = 0.2388 \text{ kcal}$

导 言 与 用 法 说 明

近两百年来由于研究化学反应过程中的数量关系，从而导致了化学的进步。通过这些研究不断地得到了新的认识和应用的可能性。因此，化学发展成为一种生产力，它的意义与日俱增。与其他工业部门相比，化学工业的生产方法需要应用高度的科学知识；化学工业的设备绝大部分是机械化和自动化的。原料的利用率很高，对成品的质量要求也在不断提高。这就需要对化学工艺过程进行多方面的和更为精确的鉴别。

所有这一切都要求在化学工业研究部门、企业实验室以及操作机器和从事生产的技术工人必须具有化学、物理化学、化工和技术等相互关系计算方面的牢固的知识和技能。已出版的其他各种教材已向学员们作了基础知识介绍，本书即在此基础上对各种定律在计算上的应用，特别是它的实际应用作了详尽的阐述。

在使用本书时，请注意下列各点：

●在一般情况下可用计算尺进行计算。在工厂的实际工作中也几乎不会有非常精确的要求。即使有，在通常情况下，也可用书面进行计算。但第二章是例外，这一章是讲重量分析，它的先决条件就是要进行计算处理。重量分析需要用精密度达到0.1毫克的分析天平。

●本书提供的数据，例如密度的数据等等，大部分引自图表手册。读者在计算时可自行选用相应的计算尺。

●计算实践主要是在掌握基础知识的基础上为计算训练而安排的。仅在第十章中才首次专门为从事“化学生产的工人”提供了实质性的资料，这些资料在其他专业教科书中是没有的，但它切合教学计划。

●因为《实用化学化工计算》一书即可供“化验员”又可作为“化学生产技术工人”的基本专业用书，因此，对习题专门作了标记。教师们可以一目了然地看出那些习题是给那些基础专业之用，哪些习题是两者共用的。符号标记如下：

●是指供化验员用的习题

○ 是指供技术工人用的习题

△ 是指两者共用的习题

●化学、化工和技术等相互关系方面最合理的计算形式就是利用“公式”进行计算。解答一道问题不管用比例法或其他的演算程序，都可按固定的步骤，顺序进行。解答每道化学计算题或其他的习题其最基本的是算法。算法主要可分为二部分。第一部分是对问题进行分析，第二部分是进行数学计算。本书的任务不是介绍各种不同的计算技术。作者对解数学计算习题的方法，主要是采用最合理的方程式，简称公式。根据以往的经验，对学员来说比较大的困难是习题的分析部分。分析的目的是要理解习题中数学上的因数和演算式的排列。下面所述及的计算程序，会对计算有所帮助。它对所有利用公式进行计算的习题皆适用。

利用公式解答习题的方法：

分析部分

1. 习题的分析

——问的是什么，求什么

——用那些定律来解答

2. 列出进行解答的方程式（公式）

3. 从习题的文字中找出数学因素，从表中查出数字，写上符号。

——写出已知数和未知数

——统一单位

——注意习题的提问，特别要注意单位。

（除了按照上述基本演算程序外，根据习题的类型，还可对第三点继续进行详细的分析）。

数学计算部分

4. 列出方程式求其未知数

5. 列入已知数和单位

6. 检查单位

7. 算出结果

8. 写出答案

第一章 质量、体积、密度及溶液的浓度

第一节 定义、公式符号、单位

测量长度的法定单位是米。它是根据光波长度而定的，相当于氪同位素86在真空中的橙色谱线的波长1650763.73。因此，精确度达 $6 \cdot 10^{-9}$ 。所有的长度单位，面积单位和体积单位都是米制。面积的法定单位是米²，体积单位是米³。

质量的单位是千克或克。一种物体不管在地球或宇宙的任何地方其质量都是不变的，一致的，先决条件就是速度近似相等。相反，由质量作用于物质上的力也称为重量，它与加速度有关。这里的基本单位是公斤力（kgf），它与质量m的关系如下：

$$F = m \cdot b$$

若 $m = 1\text{g}$ ， $b = 1\text{cm} \cdot \text{s}^{-2}$ ，则，力的单位就是1达因（dyn）。由于这个单位很小，人们常常把它扩大十万倍，并称这个单位为牛顿N。 b 表示加速度，它是在地球的地心引力影响下的一种自由落体，（ $g = 9.81\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ ），所以重量和质量之间的关系是

$$G = F = m \cdot g$$

$$1\text{kgf} = 1\text{kg} \cdot 9.81\text{m} \cdot \text{s}^{-2} = 9.81\text{N}$$

公斤力就是质量为1kg，重力加速度为 $9.81\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ 产生的力。

除了基本单位米和秒之外，物理量度制的依据是质量，工程量度制的依据是力。每道习题都可以用两种量度制计算。但值得注意的是，单位不能彼此混淆。下列例子表明使用物理量度制为佳。

在通常的化学-技术和化学分析称量中，都涉及到质量比较。人们可用天平来比较质量，将物体与一种标准公斤模制品来比较。在万有引力中感觉不出差异，因为在天平的两侧作用都是一样的。

用样密度 ρ 也属于物理的量度制。密度是一种物体的质量 m 与它的体积 V 的比值。

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

密度是以千克/米³来计量的，常常也以千克/分米³和克/厘米³，有时还以千克/升和克/毫升作计量单位。

因为一种物体的体积与其温度和压力有关，在测定密度时，这两种参数都要予以注意。

下列表中列出了由米和克导出的单位。

各种单位的倍数单位和分数单位符号要采用法定的词冠，可详见表1-1。

表1-1 国际单位制中的词冠

国际代号	词 冠	中文名称	因	数
T	Téra	太	$10^{12} =$	1000 000 000 000 单位
G	giga	吉	$10^9 =$	1 000 000 000 单位
M	méga	兆	$10^6 =$	1 000 000 单位
k	kilo	千	$10^3 =$	1 000 单位
h	hecto	百	$10^2 =$	100 单位
da	déca	十	$10^1 =$	10 单位
d	déci	分	$10^{-1} =$	0.1 单位
c	centi	厘	$10^{-2} =$	0.01 单位
m	milli	毫	$10^{-3} =$	0.001 单位
μ	micro	微	$10^{-6} =$	0.000 001 单位
n	nano	纳诺	$10^{-9} =$	0.000 000 001 单位
p	pico	皮可	$10^{-12} =$	0.000 000 000 001 单位

表1-2 由米制导出的长度单位

长度单位名称	符 号	关系(对主单位的比)	长度单位名称	符 号	关系(对主单位的比)
公里	km	$1\text{km} = 10^3\text{m}$	毫米	mm	$1\text{mm} = 10^{-3}\text{m}$
米	m		微米	μm	$1\mu\text{m} = 10^{-6}\text{m}$
分米	dm	$1\text{dm} = 10^{-1}\text{m}$	纳米	nm	$1\text{nm} = 10^{-9}\text{m}$
厘米	cm	$1\text{cm} = 10^{-2}\text{m}$	皮米	pm	$1\text{pm} = 10^{-12}\text{m}$