

(京)新登字 039 号

内 容 提 要

本书是根据美国著名的ROBERT H. PERRY所著的《PERRY'S CHEMICAL ENGINEERS' HANDBOOK》(第六版)译出。

中译本分上、下两卷出版。全书共分27篇。上卷包括第1至12篇,主要内容有:单位换算和各种数据表,数学,物理和化学数据,反应动力学,反应器设计,热力学,流体与颗粒力学,流体的输送与贮存,粉粒体的输送及固体和液体的包装,粉碎与团聚,能的利用、转化与储存,传热及传热设备,湿度测定法,蒸发冷却,致冷及深冷过程。

本书为全化工各行业通用的工具书,是指导化工、轻工、冶金等领域的科研人员,教学人员、生产人员进行过程研究开发,生产设备设计计算的必备手册。

ROBERT H. PERRY

PERRY'S CHEMICAL ENGINEER'S HANDBOOK

SIXTH EDITION

McGraw-Hill

1984

PERRY化学工程手册

第 六 版

上 卷

责任编辑, 郭乃铎
陈 丽

封面设计, 韩 星

化学工业出版社出版发行

(北京市朝阳区惠新里1号)

北京朝阳区东华印刷厂印刷

新华书店北京发行所经销

开本787×1092 1/16 印张112 3/4 字数2804千字

1992年2月第1版 1992年2月北京第1次印刷

印数 1—3000

ISBN 7-5025-1036-2/TQ·603

定 价145.00元

编辑说明

(1) 《PERRY化学工程手册》是一部在国际、国内具有较大影响的权威性工具书，对指导化工、轻工、冶金等行业的科研、设计和生产具有重要的参考价值。该书自1934年问世以来，经过五次修订再版。现将1984年第六版译成中文，介绍给广大读者。

(2) 由于计算机技术的迅速发展和被广泛采用，以及新的结构材料的开发利用，化学工程的理论和技术日益更新，新的另枝不断形成。为此，作者在第五版的基础上，对手册的内容作了大量修订和补充，不但对第五版的25篇逐一修正增补，并改写了经济、蒸馏、萃取和吸收各篇，还增加了生化工程技术和废物管理两篇新内容。另外，本版新收入的图、表、数据等以SI单位制表示，并增加了U.S.单位和SI单位的换算。

(3) 天津大学，浙江大学，清华大学，大连理工大学化工学院，石油大学，华南理工大学，成都科技大学，天津化工研究院的有关专家教授参加了翻译和审校工作。

(4) 参加本手册的编辑人员(以姓氏笔划为序)：刘哲、刘小蕓、李迟善、**李涌雪**、李洪勋、李建斌、朱振东、陈丽、陈逢阳、苗延秀、罗幼松、张红兵、张婉如、施承薇、周国庆、郭乃铎、徐世峰、梁虹、谢丰毅等。

总 目 录

上 卷

单位换算因子和各种数据表	1-1
数学	2-1
物理和化学数据	3-1
反应动力学, 反应器设计, 热力学	4-1
流体与颗粒力学	5-1
流体的输送和贮存	6-1
粉粒体的输送及固体和液体的包装	7-1
粉碎与团聚	8-1
能的利用、转化与储存	9-1
传热	10-1
传热设备	11-1
湿度测定法, 蒸发冷却, 致冷及深冷过程	12-1

下 卷

蒸馏	13-1
传质与气体吸收	14-1
液液萃取	15-1
吸附和离子交换	16-1
新的分离过程	17-1
液-气系统	18-1
液-固系统	19-1
固体干燥和气固系统	20-1
固-固体系和液-液体系	21-1
过程控制	22-1
结构材料	23-1
过程机器的传动	24-1
过程经济	25-1
废物管理	26-1
生化工程	27-1
索引	1

第 2 篇 数 学

作者:

Hoerl A.E. 数学与统计学,本篇主编

Nashed M.E. 数学

Mcketta J.J. 量纲分析

Silberberg J.H. 量纲分析

译者:

马国瑜 数学 (2.1~2.14)

张立昂 数值方法与数理统计 (2.15~2.19)

第2篇 目 录

一般参考文献

2.1 数学2-11

2.1.1 导论2-11

2.1.2 各种数学常数2-13

2.1.3 实数系2-13

2.1.4 级数2-16

一、算术级数2-16

二、几何级数2-16

三、算术-几何级数2-17

2.1.5 代数不等式2-17

一、算术-几何不等式2-17

二、Carleman不等式2-17

三、柯西-许伐兹不等式2-17

四、闵柯夫斯基不等式2-18

五、Hölder不等式2-18

六、拉格朗日不等式2-18

2.2 求积公式2-19

2.2.1 直线边界的平面几何图形2-19

一、三角形2-19

二、矩形2-19

三、平行四边形2-19

四、菱形2-19

五、梯形2-19

六、四边形2-19

七、正 n 边形2-19

2.2.2 曲边平面几何图形2-20

一、圆2-20

二、圆环2-21

三、椭圆2-21

四、抛物线2-21

五、悬链线2-21

2.2.3 平面边界的立体几何图形2-21

一、正立方体2-21

二、长方体2-21

三、棱柱体2-21

四、棱锥2-21

五、平截头棱锥体2-22

六、棱长为 l 的正多面体的体积和表面

积2-22

2.2.4 曲面边界的立体几何图形2-22

一、圆柱2-22

二、球2-22

三、锥2-23

四、椭球2-23

五、环面2-23

六、长球2-23

七、扁球2-23

2.2.5 各种公式2-23

一、旋转体体积2-23

二、旋转曲面面积2-23

三、 $f(x)$, x 轴、直线 $x=a$ 和 $x=b$ 所围 面积2-23

四、平面曲线的弧长2-23

五、Pappus定理2-24

2.2.6 不规则图形的面积和体积2-24

一、不规则图形的面积2-24

二、不规则图形的体积2-24

2.3 初等代数2-25

2.3.1 代数表达式的运算2-25

一、加法和减法2-25

二、乘法2-25

三、除法2-25

四、0的运算2-25

五、分式运算2-25

六、因式分解2-25

七、指数运算法则2-26

2.3.3 级数2-26

2.3.4 排列 组合 概率2-27

2.3.5 方程式论2-28

一、线性方程2-28

二、二次方程2-29

三、三次方程2-29

四、四次方程2-29

五、一般 n 次多项式2-30

六、行列式2-31

2.4 解析几何2-34

2.4.1 平面解析几何	2-34	五、定积分的积分方法	2-61
一、坐标系	2-34	2.7 无穷级数	2-64
二、直线	2-34	2.7.1 定义	2-64
三、渐近线	2-35	2.7.2 无穷级数的运算	2-65
四、已知曲线方程时, 曲线的几何 性质	2-36	2.7.3 收敛和发散的判别法	2-66
五、圆锥曲线	2-36	一、比较判别法	2-66
六、极方程的图形	2-38	二、 n 项判别法	2-67
七、参数方程	2-38	三、比值判别法	2-67
2.4.2 立体解析几何	2-41	四、和式判别法	2-68
一、坐标系	2-41	五、交错级数的判别法	2-68
二、直线和平面	2-41	六、柯西根式判别法	2-69
三、空间曲线	2-42	七、马克劳林积分判别法	2-69
四、曲面	2-42	2.7.4 级数求和与恒等式	2-70
2.5 平面三角	2-44	一、自然数的整数幂之和	2-70
2.5.1 角	2-44	二、算术级数	2-70
2.5.2 三角函数	2-44	三、几何级数	2-71
一、三角函数的数值和符号	2-45	四、调和级数	2-71
二、特殊角的三角函数值	2-45	五、二项式级数	2-71
三、同角的三角函数关系	2-45	六、台劳级数	2-72
四、负角的三角函数关系	2-46	七、马克劳林级数	2-72
五、三角恒等式	2-46	八、指数级数	2-73
2.5.3 反三角函数	2-46	九、对数级数	2-73
2.5.4 三角形的边角关系	2-47	十、三角级数	2-73
一、解三角形	2-47	十一、各种无穷级数	2-73
二、直角三角形	2-47	十二、无穷级数的部分和及其收敛 速度	2-73
三、斜三角形	2-48	十三、欧拉-马克劳林公式	2-74
2.5.5 双曲函数	2-48	十四、渐近级数	2-75
一、基本关系式	2-48	2.8 复变函数	2-76
二、反双曲函数	2-48	2.8.1 代数运算	2-76
三、双曲函数的取值范围	2-49	2.8.2 特殊运算	2-76
2.5.6 三角函数的近似式	2-49	2.8.3 三角式	2-77
2.6 微积分学	2-50	2.8.4 乘幂和求根	2-77
2.6.1 微分学	2-50	2.8.5 初等复函数	2-77
一、函数概念的例子	2-50	一、多项式	2-77
二、极限	2-50	二、指数函数	2-77
三、函数的连续性	2-51	三、三角函数	2-77
四、导数	2-51	四、双曲函数	2-78
五、不定式: 洛比达定理	2-54	五、对数函数	2-78
六、偏导数	2-54	六、幂函数	2-78
2.6.2 积分学	2-56	七、反三角函数	2-78
一、不定积分	2-56	八、反双曲函数	2-78
二、不定积分的积分方法	2-57	2.8.6 复值函数 (解析函数)	2-79
三、定积分	2-60	一、复变量的函数	2-79
四、定积分的性质	2-61	二、微分法	2-79
		三、奇点	2-80

四、调和函数	2-80	2.13.1 矩阵代数	2-108
五、积分法	2-80	一、矩阵	2-108
六、保角映射	2-81	二、矩阵的微积分	2-110
2.9 微分方程	2-82	三、向量和矩阵的模	2-111
2.9.1 常微分方程	2-82	2.13.2 矩阵计算	2-111
一、一阶常微分方程	2-83	一、行的初等运算	2-111
二、高阶常微分方程	2-84	二、梯形矩阵	2-111
三、线性常系数齐次(右端项为0)微分方程	2-85	三、初等矩阵	2-112
四、线性非齐次微分方程	2-85	四、用初等行运算求 A^{-1}	2-112
2.9.2 特殊微分方程	2-87	五、矩阵的LU分解	2-114
一、欧拉方程	2-87	六、利用LU分解求解 $Ax=b$	2-114
二、贝塞尔方程	2-87	七、高斯消去法中主元的选取	2-115
三、勒让德方程	2-88	2.14 某些表达式的数值近似	2-117
四、拉盖尔方程	2-88	2.14.1 近似恒等式	2-117
五、埃尔米特方程	2-88	2.14.2 和式和近似式	2-117
六、切贝谢夫方程	2-88	2.15 数值分析和近似方法	2-118
2.9.3 偏微分方程	2-88	2.15.1 导论	2-118
一、一阶拟线性偏微分方程	2-89	2.15.2 线性方程组及相关问题的数值解法	2-118
二、二阶和高阶偏微分方程	2-89	一、求解方程组(2-76)的直接方法	2-119
2.10 差分方程	2-94	二、求解方程组(2-76)的迭代方法	2-121
2.10.1 有限差分的计算基础	2-94	三、矩阵求逆	2-122
2.10.2 差分方程	2-94	2.15.3 单变量非线性方程的数值解法	2-124
一、方程 $\Delta^n y = a$	2-95	一、适用于多项式方程的特殊方法	2-124
二、方程 $y_{x+1} - y_x = \phi(x)$	2-95	二、求解单变量非线性方程的通用方法	2-125
三、线性差分方程	2-95	三、非线性方程组的数值解法	2-127
四、非线性差分方程:黎卡提差分方程	2-97	2.15.4 插值和有限差分	2-129
2.11 积分方程	2-98	一、线性插值	2-129
2.11.1 积分方程的分类	2-98	二、高阶均差和高阶插值	2-130
2.11.2 与微分方程的关系	2-99	三、等距向前差分	2-131
2.11.3 求解方法	2-100	四、拉格朗日插值公式	2-132
一、卷积型的积分方程	2-100	五、其它差分方法(等距坐标)	2-132
二、一般的阿贝尔方程	2-100	六、反插法	2-133
三、具有可分离核的方程	2-100	2.15.5 数值微分	2-133
四、逐次逼近法	2-101	一、使用插值公式	2-133
2.12 积分变换	2-102	二、光滑技术	2-134
2.12.1 拉普拉斯变换	2-102	三、最小二乘法	2-135
一、拉普拉斯变换存在的充分条件	2-102	2.15.6 数值积分	2-137
二、拉普拉斯变换的性质	2-103	一、一元函数的牛顿-柯特斯积分公式(等距坐标)	2-137
2.12.2 卷积	2-105	二、二维公式	2-137
2.12.3 傅里叶变换	2-105	三、高斯积分公式(不等距坐标)	2-138
2.12.4 傅里叶余弦变换	2-106	2.15.7 常微分方程的数值解法	2-138
2.13 矩阵代数和矩阵计算	2-108	一、改进的欧拉法	2-138
		二、改进的Adams法	2-139

三、龙格-库塔法	2-140	三、几何概率分布	2-173
四、高阶微分方程和微分方程组	2-140	四、泊松概率分布	2-174
2.15.8 积分方程的数值解法	2-142	五、超几何概率分布	2-175
2.15.9 偏微分方程的数值解法	2-143	六、多项分布	2-176
2.15.10 样条函数	2-147	2.18.3 测量数据与样本密度	2-176
一、样条函数的应用	2-147	一、导论	2-176
二、用三次自然样条函数插值	2-148	二、观察值的正态分布	2-177
三、关于用三次自然样条函数插值的算 法	2-148	三、平均值的正态分布	2-178
四、二次样条插值	2-149	四、平均值的分布	2-179
五、B-样条函数	2-149	五、两个样本均值的差的 t 分布	2-180
六、一维有限元方法	2-150	六、 χ^2 分布	2-180
2.15.11 快速傅里叶变换 (FFT) 算法 或 计算三角插值多项式的 COOLEY-TUK-EY算法	2-151	七、 F 分布	2-181
一、算法	2-152	八、均值的置信区间	2-181
二、离散傅里叶变换 (DFT)	2-153	九、两个总体均值差的置信区间	2-182
2.16 变分法	2-155	十、比例的置信区间	2-182
2.16.1 变分法中的几个“最简单问题” 的经典例子及其表述	2-155	十一、方差的置信区间	2-182
2.16.2 变分法中的有限差分法	2-158	2.18.4 假设检验	2-183
2.17 最优化方法	2-160	一、假设检验的一般特征	2-183
2.17.1 搜索方法	2-160	二、均值的假设检验: 检验步骤	2-183
一、单变量搜索	2-160	三、功效	2-185
二、多变量搜索	2-161	四、两个总体均值的假设检验	2-187
2.17.2 约束条件	2-161	五、成对观察数据的假设检验	2-189
一、等式约束	2-162	六、比率的假设检验	2-192
二、不等式约束	2-162	七、两个比率的假设检验	2-192
2.17.3 变分方法	2-163	八、拟合优度检验	2-195
2.17.4 规划论	2-164	九、计数数据独立性的双因素检验	2-198
一、动态规划	2-164	十、单因素方差分析	2-202
二、线性规划	2-165	十一、方差相等的Bartlett检验法	2-210
2.18 数理统计	2-169	十二、Duncan多范围检验法	2-212
2.18.1 导论	2-169	十三、双因素方差分析	2-214
一、数据类型	2-169	2.18.5 简单线性最小二乘法	2-221
二、随机变量	2-170	一、特征	2-221
三、模型	2-170	二、简单线性最小二乘法: 方法	2-221
四、参数	2-171	2.18.6 简单非线性回归	2-226
五、样本统计量	2-171	一、特征	2-226
六、偶然事件的特征	2-172	二、简单非线性回归: 方法	2-227
2.18.2 可数数据和概率分布	2-172	2.18.7 多元回归	2-231
一、导论	2-172	一、特征	2-231
二、二项概率分布	2-172	二、多元回归: 方法	2-231
		2.19 量纲分析	2-239
		2.19.1 最简单的例子	2-239
		2.19.2 RAYLEIGH法	2-240
		2.19.3 BUCKINGHAM π 法	2-242

一般参考文献

本篇所列文献, 为化学工程中所用的经典的和现代的数学方法, 提供了一个全面的展示。在篇内还给出了一些补充文献和扩充材料。本篇也包括了一些重要数学领域的文献, 这些数学领域虽未列在手册中, 但它们对化学工程的

某些领域是很有用的, 如数值分析和软件, 最优控制和系统理论, 线性算子, 及泛函分析方法。对简短的理论概述、各种数学专题中的详细例题和已解决的问题, 以及工程师的数学方法等有感兴趣的读者可参看Schaum的著作“Outline Series in Mathematics”, 本书由McGraw-Hill Book Company出版

1. Abramowitz, M., and I. Stegun: *Handbook of Mathematical Functions with Formulas, Graphs, and Mathematical Tables*, Dover, New York, 1965.
2. Action, F. S.: *Analysis of Straight-Line Data*, Dover, New York, 1966.
3. ———: *Numerical Methods That Work*, Harper & Row, New York, 1970.
4. Adey, R. A., and C. A. Brebbia: *Basic Computational Techniques for Engineers*, Wiley, New York, 1983.
5. Alger, P.: *Mathematics for Science and Engineering*, 2d ed., McGraw-Hill, New York, 1969.
6. Allendoerfer, C. B., and C. O. Oakley: *Principles of Mathematics*, 3d ed., McGraw-Hill, New York, 1969.
7. Ames, W. F.: *Nonlinear Partial Differential Equations in Engineering*, Academic, New York, 1965.
8. ———: *Nonlinear Ordinary Differential Equations in Transport Processes*, Academic, New York, 1968.
9. ———: *Numerical Methods for Partial Differential Equations*, 2d ed., Academic, New York, 1977.
10. Angel, E., and R. Bellman: *Dynamic Programming and Partial Differential Equations*, Academic, New York, 1972.
11. Apostol, T. M.: *Mathematical Analysis*, 2d ed., Addison-Wesley, Reading, Mass., 1974.
12. Arfken, G.: *Mathematical Methods for Physicists*, 2d ed., Academic, New York, 1970.
13. Aris, R.: *The Mathematical Theory of Diffusion and Reaction in Permeable Catalysts*, vols. 1 and 2, Oxford University Press, Oxford, 1975.
14. ———: *Mathematical Modelling Techniques*, Pitman, London, 1978.
15. ——— and N. Amundson: *Mathematical Methods in Chemical Engineering*, vols. 1 and 2, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J., 1973.
16. Arya, J. C., and R. W. Lardner: *Algebra and Trigonometry with Applications*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J., 1983.
17. Athans, M., and P. L. Falb: *Optimal Control*, McGraw-Hill, New York, 1966.
18. Atkinson, K. E.: *An Introduction to Numerical Analysis*, Wiley, New York, 1978.
19. Baker, C. T. H.: *The Numerical Treatment of Integral Equations*, Oxford University Press, New York, 1977.
20. Barrodale, I., D. K. Roberts, and B. L. Ehle: *Elementary Computer Applications*, Wiley, New York, 1971.
21. Bazaraa, M. S., and J. J. Jarvis: *Linear Programming and Network Flow*, Wiley, New York, 1977.
22. ——— and M. Shetty: *Nonlinear Programming*, Wiley, New York, 1979.
23. Beckenbach, E. F. (ed.): *Modern Mathematics for the Engineer*, 2d ed., McGraw-Hill, 1961.
24. ——— and R. E. Bellman: *Inequalities*, 3d printing, Springer-Verlag, Berlin, 1971.
25. Becker, E. B., G. F. Carey, and J. T. Oden: *Finite Elements: An Introduction*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J., 1981 (first of a series of six volumes).
26. Bell, W. W.: *Special Functions for Scientists and Engineers*, Van Nostrand, London, 1968.
27. Bellman, R. E.: *Stability Theory of Ordinary Differential Equations*, McGraw-Hill, New York, 1953.
28. ———: *Introduction to Matrix Analysis*, McGraw-Hill, New York, 1960.
29. ——— and K. L. Cooke: *Differential-Difference Equations*, Academic, New York, 1972.
30. ——— and S. E. Dreyfus: *Applied Dynamic Programming*, Princeton University Press, Princeton, N.J., 1962.
31. Bender, E. A.: *An Introduction to Mathematical Modeling*, Wiley, New York, 1978.
32. Ben-Israel, A., and T. N. E. Greville: *Generalized Inverses: Theory and Applications*, Wiley-Interscience, New York, 1974.
33. Blum, E. K.: *Numerical Analysis and Computation: Theory and Practice*, Addison-Wesley, Reading, Mass., 1972.
34. Bodewig, E.: *Matrix Calculus*, 2d ed., Interscience, New York, 1959.
35. Boor, C. de: *A Practical Guide to Splines*, Springer-Verlag, New York, 1978.
36. Botha, J. F., and G. F. Pinder: *Fundamental Concepts in the Numerical Solution of Differential Equations*, Wiley, New York, 1983.
37. Bowman, F.: *Introduction to Bessel Functions*, Dover, New York, 1958.
38. Boyce, W. E., and R. C. Di Prima: *Elementary Differential Equations and Boundary Value Problems*, 3d ed., Wiley, New York, 1977.
39. Bradley, S. P., A. C. Hax, and T. L. Magnante: *Applied Mathematical Programming*, Addison-Wesley, Reading, Mass., 1977.
40. Brand, L.: *Advanced Calculus*, Wiley, New York, 1955.
41. ———: *Differential and Difference Equations*, Wiley, New York, 1966.
42. Brauer, F., and J. A. Nohel: *Ordinary Differential Equations*, W. A. Benjamin, New York, 1967.
43. Braun, M.: *Differential Equations and Their Applications: An Introduction to Applied Mathematics*, 3d ed., Springer-Verlag, New York, 1983.
44. Brigham, E.: *The Fast Fourier Transform*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J., 1974.
45. Bruijn, N. G. de: *Asymptotic Methods in Analysis*, Dover, New York, 1981.
46. Bryson, A. E., and Y. C. Ho: *Applied Optimal Control*, Blaisdell Publishing Company, Waltham, Mass., 1969.
47. Brent, R.: *Algorithms for Minimization without Derivatives*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J., 1973.
48. Buck, R. C.: *Advanced Calculus*, 3d ed., McGraw-Hill, New York, 1978.
49. Budak, B. M., A. A. Samarskii, and A. N. Tikhonov: *A Collection of Problems on Mathematical Physics*, Pergamon, Oxford, 1964.
50. Bunch, J., and D. Rose (eds.): *Sparse Matrix Computations*, Academic, New York, 1976.
51. Burden, R. L., J. D. Faires, and A. C. Reynolds: *Numerical Analysis*, 2d ed., Prindle, Weber & Schmidt, Boston, 1981.
52. Burrington, R.: *Handbook of Mathematical Tables and Formulas*, 4th ed., McGraw-Hill, New York, 1969.
53. Byrd, P., and M. Friedman: *Handbook of Elliptic Integrals for Scientists and Engineers*, 2d ed., Springer-Verlag, New York, 1971.
54. Carnahan, B., H. Luther, and J. Wilkes: *Applied Numerical Methods*, Wiley, New York, 1969.
55. Carrier, G., M. Crook, and C. Pearson: *Functions of a Complex Variable*, McGraw-Hill, New York, 1966.
56. ——— and C. Pearson: *Partial Differential Equations*, Academic, New York, 1976.
57. Carslaw, H. S.: *The Theory of Fourier Series and Integrals*, 3d ed., Dover, New York, 1930.
58. ——— and J. Jaeger: *Operational Methods in Applied Mathematics*, 2d ed., Clarendon Press, Oxford, 1948.
59. Cheney, E. W.: *Introduction to Approximation Theory*, McGraw-Hill, New York, 1966.
60. ——— and D. Kincaid: *Numerical Mathematics and Computing*, Brooks/Cole, Monterey, Calif., 1980.
61. Churchill, R. V.: *Operational Mathematics*, 3d ed., McGraw-Hill, New York, 1972.
62. ——— and J. W. Brown: *Fourier Series and Boundary Value Problems*, 3d ed., McGraw-Hill, New York, 1978.
63. ———, J. W. Brown, and R. V. Verhey: *Complex Variables and Applications*, 3d ed., McGraw-Hill, New York, 1974.
64. Clarke, F. H.: *Optimization and Nonsmooth Analysis*, Wiley, New York, 1983.
65. Coburn, L.: *Vector and Tensor Analysis*, Macmillan, New York, 1955.
66. Cochran, J. A.: *The Analysis of Linear Integral Equations*, McGraw-Hill, New York, 1972.
67. Coddington, E. A.: *An Introduction to Ordinary Differential Equations*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J., 1961.
68. ——— and N. Levinson: *Theory of Ordinary Differential Equations*, McGraw-Hill, New York, 1955.
69. Cogan, E. J., and R. Z. Norman: *Handbook of Calculus, Difference and Differential Equations*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J., 1958.

70. Collatz, L.: *The Numerical Treatment of Differential Equations*, 3d ed., Springer-Verlag, Berlin and New York, 1966.
71. Conte, S. D., and C. de Boor: *Elementary Numerical Analysis: An Algorithmic Approach*, 3d ed., McGraw-Hill, New York, 1980.
72. Cooper, L., and D. Steinberg: *Methods and Applications of Linear Programming*, Saunders, Philadelphia, 1974.
73. Courant, R., and D. Hilbert: *Methods of Mathematical Physics*, Interscience, New York, vol. 1, 1953; vol. 2: *Partial Differential Equations*, 1962.
74. ——— and F. John: *Introduction to Calculus and Analysis*, Wiley, New York, 1965.
75. ——— and H. Robbins: *What Is Mathematics?* Oxford University Press, New York, 1941.
76. Crandall, S.: *Engineering Analysis*, McGraw-Hill, New York, 1956.
77. Cress, T. M., and R. M. Haralick: *Differential Equations for Engineers*, McGraw-Hill, New York, 1978.
78. Cunningham, R.: *Introduction to Nonlinear Differential Equations*, McGraw-Hill, New York, 1960.
79. Dahlquist, G., and A. Björck: *Numerical Methods*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J., 1974.
80. Dantzig, G. B.: *Linear Programming and Extensions*, Princeton University Press, Princeton, N.J., 1963.
81. Davis, H. T.: *Introduction to Nonlinear Differential and Integral Equations*, Dover, New York, 1962.
82. Davis, P.: *Interpolation and Approximation*, Dover, New York, 1980.
83. ——— and P. Rabinowitz: *Methods of Numerical Integration*, 2d ed., Academic, New York, 1975.
84. Dean, M. M.: *Optimization by Variational Methods*, McGraw-Hill, New York, 1969.
85. ———: *Stability of Reaction and Transport Processes*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J., 1974.
86. Denney, F., and A. Knywicks: *Mathematics for Physicists*, Harper & Row, New York, 1967.
87. Dettman, J. W.: *Introduction to Linear Algebra and Differential Equations*, McGraw-Hill, New York, 1974.
88. Doetsch, G. A.: *A Guide to the Applications of the Laplace Transform*, Van Nostrand, Princeton, N.J., 1963.
89. Delciani, M. P., et al.: *Modern Introductory Analysis*, Houghton Mifflin, Boston, 1970.
90. Dongarra, J. J., J. R. Bunch, C. B. Moler, and G. W. Stewart: *LINPACK Users Guide*, Society for Industrial and Applied Mathematics, Philadelphia, 1979.
91. Dorn, W. S., and D. D. McCracken: *Numerical Methods with Fortran IV Case Studies*, Wiley, New York, 1972.
92. Dugundji, J.: *Dynamic Programming and the Calculus of Variations*, Academic, New York, 1965.
93. Duff, G. F. D., and D. Naylor: *Differential Equations of Applied Mathematics*, Wiley, New York, 1966.
94. Dwight, H. B.: *Tables of Integrals and Other Mathematical Data*, Macmillan, New York, 1947.
95. Dym, C. L., and E. S. Ivey: *Principles of Mathematical Modeling*, Academic, New York, 1980.
96. Elich, J., and C. J. Elich: *College Algebra with Calculator Applications*, Addison-Wesley, Boston, Mass., 1982.
97. Eptain, B.: *Partial Differential Equations*, McGraw-Hill, New York, 1962.
98. Erdelyi, A., et al.: *Higher Transcendental Functions*, vols. I, II, and III, McGraw-Hill, New York, 1953-1955.
99. Faddeev, D. K., and V. N. Faddeeva: *Computational Methods in Linear Algebra*, Freeman, San Francisco, 1963.
100. Fiocco, A. V., and G. P. McCormick: *Nonlinear Programming: Sequential Unconstrained Minimization Techniques*, Wiley, New York, 1968.
101. Finlayson, B. A.: *The Method of Weighted Residuals and Variational Principles*, Academic, New York, 1972.
102. Fisher, B. G., and A. D. Ziebar: *Integrated Algebra, Trigonometry, and Analytic Geometry*, 4th ed., Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J., 1982.
103. Forsythe, G. E., M. A. Malcolm, and C. B. Moler: *Computer Methods for Mathematical Computations*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J., 1977.
104. ——— and C. B. Moler: *Computer Solution of Linear Algebraic Systems*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J., 1967.
105. ——— and W. R. Wasow: *Finite Difference Methods for Partial Differential Equations*, Wiley, New York, 1960.
106. Fox, L.: *Introduction to Numerical Linear Algebra*, Oxford University Press, Oxford, 1965.
107. Franklin, J. N.: *Matrix Theory*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J., 1968.
108. Franklin, P.: *An Introduction to Fourier Methods and Laplace Transformation*, Dover, New York, 1949.
109. ———: *Functions of Complex Variable*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J., 1958.
110. ———: *A Treatise on Advanced Calculus*, Dover, New York, 1964.
111. Freiberger, W. F. (ed.): *International Dictionary of Applied Mathematics*, Van Nostrand, New York, 1960.
112. Friedman, B.: *Principles and Techniques of Applied Mathematics*, Wiley, New York, 1957.
113. Friedman, N. A.: *Calculus and Mathematical Models*, Prindle, Weber & Schmidt, Boston, 1979.
114. Gale, D.: *The Theory of Linear Economic Models*, McGraw-Hill, New York, 1960.
115. Gantmacher, F. R.: *Applications of the Theory of Matrices*, Interscience, New York, 1959.
116. Garbow, B. S., J. M. Boyle, J. J. Dongarra, and C. B. Moler: *Matrix Eigensystem Routines—EISPACK Guide Extensions*, Springer-Verlag, Berlin and New York, 1977.
117. Gardner, K. L.: *A Programmed Vector Algebra*, Oxford University Press, Fair Lawn, N.J., 1969.
118. Gass, S. I.: *Linear Programming*, 3d ed., McGraw-Hill, New York, 1969.
119. Gear, C. W.: *Numerical Initial Value Problems in Ordinary Differential Equations*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J., 1971.
120. Gelfand, I. M., and S. V. Fomin: *Calculus of Variations*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J., 1963.
121. Goertzel, G., and N. Tralli: *Some Mathematical Methods of Physics*, McGraw-Hill, New York, 1960.
122. Gradshteyn, I. S., and I. M. Ryzhik: *Tables of Integrals, Series, and Products*, Academic, New York, 1980.
123. Greenberg, M. M.: *Foundations of Applied Mathematics*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J., 1978.
124. Gregory, R., and D. Karney: *A Collection of Matrices for Testing Computational Algorithms*, Wiley, 1969.
125. Greville, T. N. E.: *Theory and Applications of Spline Functions*, Academic, New York, 1969.
126. Groetsch, C. W.: *Generalized Inverses of Linear Operators*, Marcel Dekker, New York, 1977.
127. ———: *Elements of Applicable Functional Analysis*, Marcel Dekker, New York, 1980.
128. Gustafson, R. D., and P. D. Frisk: *Plane Trigonometry*, Brooks/Cole, Monterey, Calif., 1982.
129. Haberman, R.: *Mathematical Models*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J., 1977.
130. Hadley, G.: *Linear Programming*, Addison-Wesley, Reading, Mass., 1962.
131. ———: *Nonlinear and Dynamic Programming*, Addison-Wesley, Reading, Mass., 1964.
132. Hageman, L. A., and D. M. Young: *Applied Iterative Methods*, Academic, New York, 1981.
133. Halany, A.: *Differential Equations: Stability, Oscillations, Time Lags*, Academic, New York, 1966.
134. Hale, J. K.: *Ordinary Differential Equations*, Wiley, New York, 1969.
135. Hamming, R. W.: *Numerical Methods for Scientists and Engineers*, 2d ed., McGraw-Hill, New York, 1973.
136. Hanna, R.: *Fourier Series and Integrals of Boundary Value Problems*, Wiley, New York, 1982.
137. Hansen, A.: *Similarity Analyses of Boundary Value Problems in Engineering*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J., 1964.
138. Hardy, G. H., J. E. Littlewood, and G. Polya: *Inequalities*, Cambridge University Press, Cambridge, England, 1959.
139. Harvey, C. M.: *Operations Research*, Elsevier/North-Holland, New York, 1979.
140. Hastings, C., Jr.: *Approximations for Digital Computers*, Princeton University Press, Princeton, N.J., 1955.
141. Hellwig, G.: *Differential Operators of Mathematical Physics*, Addison-Wesley, Reading, Mass., 1967.
142. Henrici, P.: *Discrete Variable Methods in Ordinary Differential Equations*, Wiley, New York, 1962.
143. ———: *Applied and Computational Complex Analysis*, Wiley, New York, 1974.
144. Hetrick, D. L.: *Dynamics of Nuclear Reactors*, University of Chicago Press, Chicago, 1971.
145. Hildebrand, F. B.: *Introduction to Numerical Analysis*, 2d ed., McGraw-Hill, New York, 1974.
146. ———: *Methods of Applied Mathematics*, 2d ed., Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J., 1965.
147. ———: *Advanced Calculus for Applications*, 3d ed., Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J., 1976.
148. Hille, E.: *Methods in Classical and Functional Analysis*, Addison-Wesley, Reading, Mass., 1972.
149. Hodgman, R.: *Standard Mathematical Tables*, 12th ed., Chemical Rubber Company, Cleveland, 1960.

150. Holzman, A. G. (ed.): *Operations Research Support Methodology*, Marcel Dekker, New York, 1979.
151. Householder, A. S.: *The Theory of Matrices in Numerical Analysis*, Dover, New York, 1979.
152. ———: *Numerical Treatment of a Single Nonlinear Equation*, McGraw-Hill, New York, 1970; Dover, New York, 1980.
153. Hornbeck, R. W.: *Numerical Methods*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J., 1975.
154. Hyatt, H. R., and L. Small: *Trigonometry: A Calculator Approach*, Wiley, New York, 1982.
155. Ince, E. L.: *Ordinary Differential Equations*, Dover, New York, 1956.
156. Indritz, J.: *Methods in Analysis*, Macmillan, New York, 1963.
157. Isaacson, E., and H. B. Keller: *Analysis of Numerical Methods*, Wiley, New York, 1966.
158. Jacobs, D. (ed.): *The State of the Art in Numerical Analysis*, Academic, New York, 1977.
159. ———: *Numerical Software—Needs and Availability*, Academic, New York, 1978.
160. James, G., and R. C. James: *Mathematics Dictionary*, 3d ed., Van Nostrand, New York, 1968.
161. Jeffreys, H., and B. Jeffreys: *Methods of Mathematical Physics*, 8d ed., Cambridge University Press, London, 1956.
162. Jennings, A.: *Matrix Computations for Engineers and Scientists*, Wiley, New York, 1977.
163. Johnson, R. E., and F. L. Kiomeister: *Calculus with Analytic Geometry*, 4th ed., Allyn and Bacon, Boston, 1969.
164. Kantorovich, L. V., and G. P. Akilov: *Functional Analysis in Normed Spaces*, 2d ed., Pergamon, Oxford, 1980.
165. ——— and V. I. Krylov: *Approximate Methods of Higher Analysis*, Interscience, New York, 1958.
166. Kanwal, R. P.: *Linear Integral Equations*, Academic, New York, 1971.
167. Kaplan, W.: *Advanced Calculus*, 2d ed., Addison-Wesley, Reading, Mass., 1973.
168. Kemeny, J. G., et al.: *Introduction to Finite Mathematics*, 3d ed., Prentice Hall, Englewood Cliffs, N.J., 1975.
169. Kennedy, E.: *The History of Trigonometry: Historical Notes for the Mathematics Classroom*, National Council of Teachers of Mathematics Yearbook XXXV, Washington, 1969.
170. Kevorkian, J., and J. D. Cole: *Perturbation Methods in Applied Mathematics*, Springer-Verlag, New York, 1981.
171. Kincaid, D. R., and D. M. Young: "Survey of Iterative Methods," *Encyclopedia of Computer Science and Technology*, Marcel Dekker, New York, 1979.
172. Korn, G., and T. Korn: *Manual of Mathematics*, McGraw-Hill, New York, 1967.
173. Krasnoselskii, M. A., G. G. M. Vainikko, P. P. Zabreiko, Ya. B. Rutitskii, and B. Ya. Stetsenko: *Approximate Solution of Operator Equations*, Wolters-Noordhoff, Groningen, Netherlands, 1972.
174. Kreyszig, E.: *Advanced Engineering Mathematics*, 5th ed., Wiley, New York, 1983.
175. ———: *Introductory Functional Analysis with Applications*, Wiley, New York, 1978.
176. Kunz, K. S.: *Numerical Analysis*, McGraw-Hill, New York, 1957.
177. Kyrala, A.: *Applied Functions of a Complex Variable*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J., 1972.
178. Lanczos, C.: *The Variational Principles of Mechanics*, University of Toronto Press, Toronto, 1949.
179. Lapidus, L., and J. Seinfeld: *Numerical Solution of Ordinary Differential Equations*, Academic, New York, 1971.
180. Lawrence, J. D.: *A Catalog of Special Plane Curves*, Dover, New York, 1972.
181. Lawson, C. L., and R. J. Hanson: *Solving Least Squares Problems*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J., 1974.
182. Lebedev, N. N.: *Special Functions and Their Applications*, Dover, New York, 1972.
183. LePage, W. R.: *Complex Variables and the Laplace Transform for Engineers*, McGraw-Hill, New York, 1961.
184. Lin, C. C., and L. A. Segel: *Mathematics Applied to Deterministic Problems in the Natural Sciences*, Macmillan, New York, 1974.
185. Luenberger, D. G.: *Optimization by Vector Space Methods*, Wiley, New York, 1969.
186. ———: *Introduction to Linear and Nonlinear Programming*, Addison-Wesley, Reading, Mass., 1973.
187. Luke, Y. L.: *Mathematical Functions and Their Applications*, Academic, New York, 1975.
188. Lusternik, L. A., and V. J. Sobolev: *Elements of Functional Analysis*, Wiley, New York, 1974.
189. Magnus, W., F. Oberhettinger, and R. P. Soni: *Formulas and Theorems for the Special Functions of Mathematical Physics*, 3d ed., Springer-Verlag, New York, 1966.
190. Mangasarian, O. L.: *Nonlinear Programming*, McGraw-Hill, New York, 1969.
191. Margenau, H., and G. Murphy: *The Mathematics of Physics and Chemistry*, 2d ed., Van Nostrand, Princeton, N.J., 1956.
192. Marshall, W. R., and R. L. Figgard: *The Application of Differential Equations to Chemical Engineering Problems*, University of Delaware, Newark, 1947.
193. Martin, R. H., Jr.: *Ordinary Differential Equations*, McGraw-Hill, New York, 1983.
194. McCormick, G.: *Nonlinear Programming: Theory, Algorithms, and Applications*, Wiley, New York, 1983.
195. McGraw-Hill Encyclopedia of Science and Technology, McGraw-Hill, New York, 1971.
196. Mickley, H. S., T. C. Sherwood, and C. E. Reed: *Applied Mathematics in Chemical Engineering*, McGraw-Hill, New York, 1957.
197. Mikhlin, S. G.: *Integral Equations*, Pergamon, New York, 1957.
198. ———: *Variational Methods in Mathematical Physics*, Pergamon, New York, 1964.
199. ———: *The Numerical Performance of Variational Methods*, Wolters-Noordhoff, Groningen, Netherlands, 1971.
200. Milne, W. E.: *Numerical Solution of Differential Equations*, Wiley, New York, 1953.
201. Mitchell, A. R.: *Computational Methods for Partial Differential Equations*, Wiley, London, 1969.
202. ——— and R. Walt: *The Finite Element Method in Partial Differential Equations*, Wiley, New York, 1977.
203. Moon, P., and D. Spencer: *Field Theory for Engineers*, Van Nostrand, Princeton, N.J., 1960.
204. ——— and ———: *Field Theory Handbook*, Springer-Verlag, Berlin, 1961.
205. Moretti, G.: *Functions of a Complex Variable*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J., 1964.
206. Morse, P. M., and H. Feshbach: *Methods of Theoretical Physics*, McGraw-Hill, New York, 1953.
207. Murnaghan, F. D.: *Introduction to Applied Mathematics*, Wiley, New York, 1948.
208. Nashed, M. Z. (ed.): *Generalized Inverses and Applications*, Academic, New York, 1976.
209. Nayfeh, A. H.: *Perturbation Methods*, Wiley, New York, 1973.
210. ———: *Introduction to Perturbation Techniques*, Wiley, New York, 1981.
211. Naylor, A. W., and G. R. Sell: *Linear Operator Theory in Engineering and Science*, Springer-Verlag, New York, 1982.
212. Noble, B.: *Applications of Undergraduate Mathematics in Engineering*, Macmillan, New York, 1967.
213. ———: *Applied Linear Algebra*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J., 1969.
214. Oberhettinger, F.: *Fourier Expansions: A Collection of Formulas*, Academic, New York, 1973.
215. Oden, J. T., and J. N. Reddy: *Variational Methods in Theoretical Mechanics*, 2d ed., Springer-Verlag, 1983.
216. Olmsted, J.: *Solid Analytic Geometry*, Appleton-Century, New York, 1947.
217. Orchard-Hays, W.: *Advanced Linear Programming Computing Techniques*, McGraw-Hill, New York, 1968.
218. Ortega, J. M., and W. C. Rheinboldt: *Newton Solution of Nonlinear Equations in Several Variables*, Academic, New York, 1970.
219. Padua, L., and M. A. Arbib: *System Theory*, Saunders, Philadelphia, 1974.
220. Papoulis, A.: *The Fourier Integral and Its Applications*, McGraw-Hill, New York, 1962.
221. Pearson, C. E.: *Handbook of Applied Mathematics*, Van Nostrand, New York, 1974.
222. Perlmutter, D.: *Stability of Chemical Reactors*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J., 1972.
223. Phillips, H. B.: *Vector Analysis*, Wiley, New York, 1983.
224. Pipes, L. A., and L. R. Harvik: *Applied Mathematics for Engineers and Physicists*, 3d ed., McGraw-Hill, New York, 1970.
225. Potter, M. C.: *Mathematical Methods for the Physical Sciences*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J., 1978.
226. Powers, D. L.: *Boundary Value Problems*, Academic, New York, 1972.
227. Prenter, P. M.: *Spline and Variational Methods*, Wiley, New York, 1975.
228. Rainville, E. D.: *Special Functions*, Chelsea Publishing Company, New York, 1972.
229. Rall, L. B.: *Computational Solution of Nonlinear Operator Equations*, Wiley, New York, 1980; Dover, New York, 1981.
230. Ralston, A., and A. Rabinowitz: *A First Course in Numerical Analysis*, 2d ed., McGraw-Hill, New York, 1978.

281. Rektorsky, K. (ed.): *Survey of Applicable Mathematics*, M.I.T., Cambridge, Mass., 1969.
232. Rice, J. R., (ed.): *Mathematical Software*, Academic, New York, 1971.
233. ———: *Matrix Computations and Mathematical Software*, McGraw-Hill, New York, 1981.
234. ———: *Numerical Methods, Software, and Analysis*, McGraw-Hill, New York, 1983.
235. Ritchmeyer, R., and K. Morton: *Difference Methods for Initial-Value Problems*, 2d ed., Interscience, New York, 1967.
236. Roubine, E. (ed.): *Mathematics Applied to Physics*, Springer-Verlag, New York, 1970.
237. Rudin, W.: *Principles of Mathematical Analysis*, 2d ed., McGraw-Hill, New York, 1964.
238. Saaty, T. L.: *Modern Nonlinear Equations*, Dover, New York, 1981.
239. ——— and J. Bram: *Nonlinear Mathematics*, McGraw-Hill, New York, 1964; Dover, New York, 1981.
240. Sagan, H.: *Boundary and Eigenvalue Problems in Mathematical Physics*, Wiley, New York, 1961.
241. ———: *Introduction to the Calculus of Variations*, McGraw-Hill, New York, 1969.
242. Schied, F.: *Theory and Problems of Numerical Analysis*, McGraw-Hill, New York, 1968.
243. Shampine, L., and M. Gordon: *Computer Solution of Ordinary Differential Equations*, Freeman, San Francisco, 1975.
244. Shapiro, J. F.: *Mathematical Programming: Structures and Algorithms*, Wiley, New York, 1979.
245. Shenk, A.: *Calculus and Analytic Geometry*, Goodyear Publishing Company, Santa Monica, Calif., 1977.
246. Shockley, J. E.: *Calculus and Analytic Geometry*, Saunders, Philadelphia, 1982.
247. Simmons, G. F.: *Differential Equations*, McGraw-Hill, New York, 1972.
248. Smith, G. D.: *Solution of Partial Differential Equations*, Oxford University Press, London, 1965.
249. Sneddon, I. N.: *Fourier Transforms*, McGraw-Hill, New York, 1951.
250. ———: *The Use of Integral Transforms*, McGraw-Hill, New York, 1972.
251. Sobel, M. A., and N. Lerner: *College Algebra*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J., 1983.
252. Sokolnikoff, I. S., and B. M. Redheffer: *Mathematics of Physics and Modern Engineering*, 2d ed., McGraw-Hill, New York, 1966.
253. Spiegel, M. R.: *Applied Differential Equations*, 3d ed., Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J., 1981.
254. Stakgold, I.: *Boundary Value Problems of Mathematical Physics*, vol. I and II, Macmillan, New York, 1967.
255. ———: *Green's Functions and Boundary Value Problems*, Wiley-Interscience, New York, 1979.
256. Stein, S. K.: *Calculus and Analytic Geometry*, 2d ed., McGraw-Hill, New York, 1977.
257. Stewart, G. W.: *Introduction to Matrix Computations*, Academic, New York, 1973.
258. Stoll, R. R., and E. T. Wong: *Linear Algebra*, Academic, New York, 1968.
259. Strang, G.: *Linear Algebra and Its Applications*, 2d ed., Academic, New York, 1980.
260. ——— and G. Fix: *An Analysis of the Finite Element Method*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J., 1973.
261. Street, R. L.: *The Analysis and Solution of Partial Differential Equations*, Brooks/Cole, Monterey, Calif., 1973.
262. Struble, R. A.: *Nonlinear Differential Equations*, McGraw-Hill, New York, 1962.
263. Swokowski, E. W.: *Calculus with Analytic Geometry*, Prindle, Weber & Schmidt, 2d ed., Boston, 1981.
264. Taylor, A. E., and D. C. Lay: *Introduction to Functional Analysis*, 2d ed., Wiley, New York, 1980.
265. ——— and W. B. Mann: *Advanced Calculus*, 2d ed., Xerox College Publishing, Lexington, Mass., 1972.
266. Tewarson, P.: *Sparse Matrices*, Academic, New York, 1973.
267. Thomas, G. B., Jr.: *Calculus and Analytic Geometry*, 4th ed., Addison-Wesley, Reading, Mass., 1968.
268. Tiller and Tour: "Stagewise Operations—Applications of the Calculus of Finite Differences to Chemical Engineering." *Trans. Amer. Inst. Chem. Eng.*, 40, 317-332 (1944).
269. Todd, J.: *Survey of Numerical Analysis*, McGraw-Hill, New York, 1962.
270. Tranter, C. J.: *Integral Transforms in Mathematical Physics*, Methuen, London, 1956.
271. Troutman, J. L.: *Variational Calculus with Elementary Convexity*, Springer-Verlag, New York, 1983.
272. Tychonov, A. N., and A. A. Samarskii: *Partial Differential Equations of Mathematical Physics*, Holden-Day, San Francisco, 1964.
273. Van Dyke, M.: *Perturbation Methods in Fluid Mechanics*, Academic, New York, 1964.
274. Varga, R. S.: *Matrix Iterative Analysis*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J., 1962.
275. Vemuri, V., and W. Karplus: *Digital Computer Treatment of Partial Differential Equations*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J., 1981.
276. Vichnevetsky, R.: *Computer Methods for Partial Differential Equations*, vol. 1: *Elliptic Equations and the Finite Element Method* (1981); vol. 2: *Initial Value Problems* (1982), Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J.
277. Watson, G. N.: *Theory of Bessel Functions*, Cambridge University Press, London, 1922.
278. Weinstock, R.: *Calculus of Variations with Applications to Physics and Engineering*, Dover, New York, 1974.
279. Whipkey, K. L., and M. N. Whipkey: *The Power of Calculus*, 3d ed., Wiley, 1979.
280. Whittaker, E., and G. Watson: *A Course of Modern Analysis*, 4th ed., Cambridge University Press, London, 1958.
281. Widder, D. V.: *Advanced Calculus*, 2d ed., Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J., 1961.
282. Wilde, D. J., and C. S. Beightler: *Foundations of Optimization*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J., 1967.
283. Wilkinson, J. H.: *Rounding Errors in Algebraic Processes*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J., 1963.
284. ———: *The Algebraic Eigenvalue Problem*, Oxford University Press, London and New York, 1965.
285. ——— and C. Reisch (eds.): *Handbook for Automatic Computation*, vol. 2, Springer-Verlag, Berlin and New York, 1971.
286. Williams, G.: *Computational Linear Algebra with Models*, Allyn and Bacon, 2d ed., Boston, 1981.
287. Willoughby, R. (ed.): *Stiff Differential Systems*, Plenum, New York, 1974.
288. Wouk, A.: *A Course of Applied Functional Analysis*, Wiley-Interscience, New York, 1979.
289. Wylie, C. R.: *Plane Trigonometry*, McGraw-Hill, New York, 1955.
290. ———: *Advanced Engineering Mathematics*, 4th ed., McGraw-Hill, New York, 1975.
291. Young, D. M.: *Iterative Solution for Large Linear Systems*, Academic, New York, 1971.
292. ——— and R. T. Gregory: *A Survey of Numerical Mathematics*, vols. I and II, Addison-Wesley, Reading, Mass., 1972.
293. Zangwill, W. L.: *Nonlinear Programming: A Unified Approach*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J., 1969.
294. Zemanian, A. H.: *Distribution Theory and Transform Analysis*, McGraw-Hill, New York, 1965.
295. Zienkiewicz, O. C.: *The Finite Element Method in Engineering Science*, McGraw-Hill, London, 1971.
296. ——— and K. Morgan: *Finite Elements and Approximations*, Wiley, New York, 1983.

REFERENCES FOR GENERAL AND SPECIFIC TOPICS

Advanced Engineering Mathematics. The references listed contain a variety of fundamental topics in mathematics for engineers. It is recommended that readers consult appropriate references in this list for background information required in the application of more advanced or specialized mathematics. Upper undergraduate level: 5, 12, 15, 76, 86, 121, 123, 146, 147, 161, 172, 174, 184, 191, 224, 225, 236, 252, 290. Graduate level: 23, 73, 112, 123, 156, 206, 207, 240, 254, 255, 280. Mathematical tables, mathematical dictionaries, and handbooks of mathematical functions and formulas: 1, 52, 53, 69, 94, 98, 111, 122, 149, 160, 180, 195, 204, 214, 221, 231, 285. Mathematical modeling of physical phenomena: 14, 15, 31, 43, 95, 129, 184, 255. Mathematical theory of reaction, diffusion, and transport processes: 8, 13, 15, 85, 144. Mathematical methods in chemical engineering: 15, 84, 192, 196, 212, 222, 268, 282. Inequalities: 24, 122, 138. Vector and Tensor Analysis. 40, 48, 65, 117, 167, 174, 222. Special Functions in Physics and Engineering. 26, 37, 98, 156, 182, 187, 189, 228, 277. Green's Functions and Applications. 66, 68, 74, 97, 112, 123, 146, 156, 255. Perturbation and Asymptotic Methods in Applied Mathematics. 170, 210, 211, 273. Advanced Calculus. 11, 40, 48, 110, 167, 265, 280, 281. Mathematical Analysis; Real Analysis. 11, 148, 237. Approximation Theory and Interpolation. 59, 82, 83. See also general references under "Numerical Analysis and Approximate Methods." Control and System Theory. 17, 46, 219, 239. Functional Analysis, Linear Operators, and Their Applications to Operator Equations and Numerical Analysis. 127, 148, 164, 173, 175, 188, 208, 211, 229, 238, 264, 288. Generalized Inverses and Least-Squares Problems. 32, 126, 181, 208.

一般内容与特殊内容的参考文献

高等工程数学 所列文献包括工程师数学的各种基本内容.根据特殊数学应用要求的数学背景,下面向读者分类推荐.大专以上水平的文献有: 5, 12, 15, 76, 86, 121, 123, 146, 147, 161, 172, 174, 184, 191, 224, 225, 236, 252, 290. 研究生水平的文献: 23, 73, 112, 123, 156, 206, 207, 240, 254, 255, 280. 数学表, 数学字典及数学函数及公式手册: 1, 52, 53, 69, 94, 98, 111, 122, 149, 160, 180, 195, 204, 214, 221, 231, 285, 255; 反应、扩散和传递过程的数学理论: 8, 13, 15, 85, 144; 化工中的数学方法: 15, 84, 192, 196, 212, 222, 268, 282. 不等式: 24, 122, 138.

向量与张量分析: 40, 48, 65, 117, 167, 174, 222.

物理与工程中的特殊函数: 26, 37, 98, 156, 182, 187, 189, 228, 277.

格林函数及其应用: 66, 68, 74, 97, 112, 123, 146, 156, 255.

应用数学中的扰动方法与渐近方法: 170, 210, 211, 273.

高等微积分: 11, 40, 48, 110, 167, 265, 280, 281.

数学分析, 实分析: 11, 148, 237.

近似理论与插值: 59, 82, 83; 也可见2.15数值分析与近似方法所列的一般参考文献.

控制与系统理论: 17, 46, 219, 239.

泛函分析, 线性算子及其在算子方程与数值分析中的应用: 127, 148, 164, 173, 175, 188, 208, 211, 229, 238, 264, 288.

广义逆与最小二乘问题: 32, 126, 181, 208.

2.1 数 学

2.1.1 导 论

科学与工程的基本问题大致属于三个范畴：

1. 平衡问题 即稳态问题。在这些问题里，要确定系统的形态。它不随时间变化，而是以相同的模式永远继续下去，因此称为“稳态”。典型的化工例子包括稳态热传导中的温度分布，化学反应的平衡，及稳态扩散问题。

2. 特征值问题 这是平衡问题的扩充，其中除去要确定相应的稳态结构外，还要确定指定参数的临界值。在传播问题中也可能产生确定特征值的问题。典型的化工问题包括规定了一定边界条件的热传导问题及共振中的问题。

3. 传播问题 这些问题是根据对初始状态的了解，而预测一个系统随后的特性。因此这类问题通常称为非定常问题（随时间变化）或非稳态现象。化工的例子包括化学反应（动力学）的非定常状态，压力波在液体中的传播，吸收塔的瞬时性质，以及填料蒸馏塔趋于平衡的速度。

工程问题的数学解法包括四个步骤：

1. 列出式子 根据支配该过程的相应的物理定律，将问题用数学语言表述。
2. 求解 完成相应的数学运算，以便从数学模型中得出合乎逻辑的推理。
3. 分析 解释数学结果与其物理意义之间的关系。
4. 改进 重复进行此过程，以获得较好的实验结果所指示的预测。

这里最主要的是前两个步骤。其细节将在以后各节论述，以下只讨论一般方法。

由步骤1列出的式子可以是代数方程、差分方程、微分方程、积分方程、或者是它们的结合。在任何方程中，这些数学模型通常都是由物理定律产生的，例如质量与能量守恒定律可表示为以下形式

输入的量 - 输出的量 + 产生的量 = 累积的量

量的输入速率 - 量的输出速率 + 量的产生速率 = 量的累积速率

当基本物理定律按这种形式表述时，列出式子通常是很方便的。这些表达式常称为“物料衡算”或“能量衡算”。为了更明确起见，可以把稳态的能量守恒定律写作

能量输入速率 - 能量输出速率 + 能量产生速率 = 0

物理领域中许多常见的定律可用微分方程描述。通过指定独立的、表述问题特征的初始条件和边界条件，可从这些方程的无穷多解中，

挑选出具体的答案。按照数学语言，某个这样的问题，比如平衡问题，被称为**边值问题**（见图2-1）。如图所示，这个问题的特征，是一个

微分方程加上一个使方程成立的开区域，并在此区域的边界上满足物理问题所给出的一定

条件（边界条件）。该问题的解必须既要在区域内部满足微分方程，又要在边界上满足指定



图 2-1 边界条件

条件。

按照数学语言，传播问题被称为**初值问题**（见图2-2）。由图可以看出，此问题是以一个微分方程加上一个使方程成立的开区域为特征的。此微分方程的解，还必须满足初始条件及任一“侧面”的边界条件。

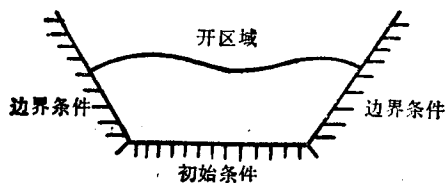


图 2-2 传播问题

L.F. Richardson (1925) 曾用一句名言形容上述两个问题的差别。他称平衡问题为**陪审问题**，称传播问题为**行军问题**，在陪审问题中，全部解是由陪审团考察和检验的，它要求解

同时满足全部边界条件和初始条件。而在行军问题中，解是由初始条件出发，在前进中随时受到来自“侧面”边界条件的指引。

对于“连续”介质，诸如气体或液体中某种现象的描述，常常要用偏微分方程。特别是，波的传播现象归结为一类“双曲型”的偏微分方程。它和其它类型的偏微分方程，如描述平衡的方程（“椭圆型”），或描述扩散和传热的方程（“抛物型”），在性质上有本质的不同。它们的典型形式为：

1. 椭圆型方程 拉普拉斯方程

$$\partial^2 u / \partial x^2 + \partial^2 u / \partial y^2 = 0$$

泊松方程

$$\partial^2 u / \partial x^2 + \partial^2 u / \partial y^2 = g(x, y)$$

这些方程都不显含变量 t （时间），因此，它们的解表示了平衡的状态。拉普拉斯方程相应于“自然”的平衡，而泊松方程相应于外力影响下的平衡，此外力的密度正比于 $g(x, y)$ 。

2. 抛物型方程 热传导方程

$$\partial u / \partial t = \partial^2 u / \partial x^2 + \partial^2 u / \partial y^2$$

描述了热传导，也同样描述了扩散的非平衡或传播状态。

3. 双曲型方程 波动方程

$$\partial^2 u / \partial t^2 = \partial^2 u / \partial x^2 + \partial^2 u / \partial y^2$$

在波的振幅很小和相互作用是线性的假设下，描述了各种类型波的传播现象。

过去求解的特点，是将精力集中在研究获得数学方程解析解的方法上，这种努力在上面所举的那些线性方程的领域内，确是卓有成效的。然而，许多自然现象是非线性的。在过去二十年中，人们一直在研究对各种非线性问题作定性和定量分析的种种方法和技巧。但是，确有一些非线性现象，用已知的方法和技巧，对于它们或者是不够用，或者是根本不能用。因此，试图只用微积分的知识，对这类现象列出公式，在帮助人们减少对这类问题的无知上，几乎无济于事。当这种情形发生时，所能采取的唯一途径，似乎是回到发明微积分以前所采用的方法上，这些方法代表着一个日益重要的领域——数值分析的本质。这样一来，若微积分的方法是一种捷径，则用它们求解；若用这些方法难于处理时，就撇开它们，而求助于代数的和数值的方法。

数值方法在提供任意特解上，几乎从不失败，但它却不能对任何问题给出一个通解。

本篇列出的数学细节，包括了解析方法和数值技巧，它们对问题的求解都是很有用的。

上述讨论只限于支配法则是已知的情形。但在许多领域，缺乏支配法则的资料，尽管如此，还必须做进一步的工作。二次大战以来，人们对应用统计方法解决各种问题的兴趣日益

增加。笼统地说,每当在实验验证的基础上要作出结论或决策时,就可以用统计方法。统计学之所以被定义为科学方法的一种手段,主要是由于它被用在这些方法的前两步,即做实验和由实验结果作出结论。传统上,这个领域分为两个部分:

1. 实验设计 当在实验验证的基础上要作出结论或决策时,只要实验数据存在误差,统计学的技术就是最有用的。进行实验设计通常首先杜绝某些误差产生的来源,并对不可避免的部分,确定出必要的允许误差。其次,藉助概率论的知识,描述其结果和该结果的可靠性。此外,一个统计方法,经常会推动、促进人们,对实验目的作更全面的评估,并且引导出比不用统计方法时更为明确的实验。

2. 统计推断 统计推断的主要问题,是为了对实验数据得到结论的不确定性作出度量。这个领域主要用概率论的理论,科学家们用这一理论,评价他们所作结论的可靠性。

数学和统计学应用到任何情况,这两个领域都是密切相关、不可分割的。数学方法和统计方法也是互相结合的,它们的成功应用,必然导致对一个问题的数值解答,也就是说,它们构成达到目的的手段。现在人们正越来越依赖于计算设备,以便从数学中得到数值解答。这些设备又可粗略地分为模拟计算机和数字计算机。

2.1.2 各种数学常数

以下是一些重要数字的近似数值

$\pi = 3.1415926536$	圆周率	$\sqrt{2\pi} = 2.5066282746$	$\sqrt{2} = 1.4142135624$
$e = 2.7182818285$	纳皮尔(自然)对数的底	$\sqrt{0.1} = 0.3162277660$	
$\gamma = 0.5772156649$	欧拉常数	$\sqrt{3} = 1.7320508076$	
$\ln \pi = 1.1447298858$	π 的自然对数	1弧度 = 57.2957795131°	
$\log \pi = 0.4971498727$	π 的常用对数	$\sqrt{5} = 2.2360679775$	
$\log x = 0.4342944819 \ln x$	对数转换	1度 = 0.0174532925弧度	
$\ln x = 2.302585093 \log x$	对数转换	$\sqrt{6} = 2.4494897428$	
$\sqrt{e} = 1.6487212707$	$\log e = 0.4342944819$	1分 = 0.0002908882弧度	
$\sqrt{\pi} = 1.7724538510$	$\ln 10 = 2.3025850930$	$\sqrt{7} = 2.6457513111$	
$\sqrt{\pi/2} = 1.2533141371$	$\ln 2 = 0.6931471806$	1秒 = 0.0000048481弧度	
$\sqrt{\pi/3} = 1.0233267079$		$\sqrt{8} = 2.8284271248$	
$\log(\log e) = 9.637784311 - 10$		$\sqrt{10} = 3.1622776602$	

2.1.3 实数系

自然数,或计数的数,是正整数:1,2,3,4,5,……,负整数是-1,-2,-3,……。

形为 a/b 的数为有理数,其中 a 和 b 是整数,且 $b \neq 0$,若一个实数不能写成两个整数的商,则称为无理数,如 $\sqrt{2}$, $\sqrt{3}$, $\sqrt{5}$, π , e , $\sqrt[3]{2}$ 。

实数集和无穷直线(坐标直线)上的点集是一一对应的。

实数的顺序和不等式

$a > b$, 即 $a - b$ 是一个正实数。

如果 $a < b$ 且 $b < c$, 则 $a < c$ 。

如果 $a < b$, 则对任意实数 c 都有 $a \pm c < b \pm c$ 。

如果 $a < b$ 且 $c > 0$, 则 $ac < bc$ 。

如果 $a < b$ 且 $c < 0$, 则 $ac > bc$ 。

如果 $a < b$ 且 $c < d$, 则 $a + c < b + d$ 。

如果 $0 < a < b$ 且 $0 < c < d$, 则 $ac < bd$ 。

如果 $a < b$ 且 $ab > 0$, 则 $1/a > 1/b$ 。

如果 $a < b$ 且 $ab < 0$, 则 $1/a < 1/b$ 。

绝对值 对任意实数 x , $|x| = \begin{cases} x & \text{若 } x \geq 0 \\ -x & \text{若 } x < 0 \end{cases}$

绝对值的性质

若 $|x| = a$, $a > 0$, 则 $x = a$ 或 $x = -a$

$|x| = |-x|$; $-|x| \leq x \leq |x|$; $|xy| = |x||y|$ 。

若 $|x| < c$, 则 $-c < x < c$, 此处 $c > 0$ 。

$||x| - |y|| \leq |x + y| \leq |x| + |y|$ 。

$\sqrt{x^2} = |x|$ 。

比例 若 $\frac{a}{b} = \frac{c}{d}$, 则 $\frac{a+b}{b} = \frac{c+d}{d}$, $\frac{a-b}{b} = \frac{c-d}{d}$, $\frac{a-b}{a+b} = \frac{c-d}{c+d}$ 。

不定式 如表2-1所示。

表 2-1

类 型	举 例 ^①	类 型	举 例 ^①
$(\infty)(0)$	$xe^{-x} \quad x \rightarrow \infty$	$\infty - \infty$	$\sqrt{x+1} - \sqrt{x-1} \quad x \rightarrow \infty$
0^0	$x^x \quad x \rightarrow 0^+$	$\frac{0}{0}$	$\frac{\sin x}{x} \quad x \rightarrow 0$
∞^0	$(\tan x)^{\cos x} \quad x \rightarrow 1/2\pi^-$	$\frac{\infty}{\infty}$	$\frac{e^x}{x} \quad x \rightarrow \infty$
1^∞	$(1+x)^{\frac{1}{x}} \quad x \rightarrow 0^+$		

①见2.6.1中极限部分。

如下类型的极限 $0/\infty$, $\infty/0$, 0^∞ , $\infty \cdot \infty$, $(+\infty) + (+\infty)$, 及 $(-\infty) + (-\infty)$ 不是不定式。

整指数 (幂和根) 若 m 和 n 是正整数, a 和 b 是数或函数, 则有下列性质:

$$a^{-n} = 1/a^n \quad a \neq 0$$

$$(ab)^n = a^n b^n$$

$$(a^n)^m = a^{nm}, \quad a^n a^m = a^{n+m}$$

$$\sqrt[n]{a} = a^{1/n} \quad a > 0$$

$$\sqrt[m]{\sqrt[n]{a}} = \sqrt[mn]{a} \quad a > 0$$

$$a^{m/n} = (a^m)^{1/n} = \sqrt[n]{a^m} \quad a > 0$$

$$a^0 = 1 \quad a \neq 0$$

$$0^a = 0 \quad a \neq 0$$

无穷大(∞)不是实数, 但可以加上“ ∞ ”和“ $-\infty$ ”作为实数系的扩充。在扩充的实数系中, 也可以作包含 $+\infty$ 若 $-\infty$ 的运算。例如, 若 $0 < a < 1$, 则 $\lim_{x \rightarrow \infty} a^x = 0$, 若 $a > 1$, 则 $a^\infty = \infty$, $\infty^a = \infty$ ($a > 0$), $\infty^a = 0$ ($a < 0$)。