

化学工程手册

1

化学工业出版社

化学工程手册

1

《化学工程手册》编辑委员会

化学工业出版社

内 容 提 要

《化学工程手册》共26篇，分6卷合订出版。

本卷包括化工基础数据、化工应用数学、化工热力学。主要介绍化工设计、计算中常用的各种常数、无因次数群，常见元素、无机物、有机物的物理及热力学性质、物性的推算方法；介绍化工数据处理和设计计算中常用的数学图表公式和数学方法；介绍经典热力学在化学工程中的应用，包括热力学基本定律及应用，能量衡算，热力学性质的计算，溶液热力学等等。

本书供化工、石油及有关工业部门的设计、研究人员、工厂技术人员及有关院校师生参考。

化 学 工 程 手 册

《化学工程手册》编辑委员会

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

化工印刷厂装订

新华书店北京发行所经销

开本787×1092¹/₁₆印张55字数1,581千字

1989年10月第1版 1989年10月北京第1次印刷

印 数 1-8,000

ISBN 7-5025-0592-X/TQ·349

定 价 29.70 元

《化学工程手册》编辑委员会

主 任 冯伯华

副主任 陈自新 李步年 苏元复

汪家鼎 蔡剑秋

委员 (以姓氏笔划为序)

卢焕章 区灿棋 邓颂九 朱亚杰

朱自强 余国琮 时 钧 沈 复

吴锡军 林纪方 杨友麒 张洪沅

张剑秋 郑 炽 郭慕孙 傅举孚

萧成基

序

化学工程是以物理、化学、数学的原理为基础，研究化学工业和其他化学类型工业生产中物质的转化、改变物质的组成、性质和状态的一门工程学科。它出现于19世纪下半叶，至本世纪二十年代，从理论上分析和归纳了化学类型（化工、冶金、轻工、医药、核能……）工业生产的物理和化学变化过程，把复杂的工业生产过程归纳成为数不多的若干个单元操作，从而奠定了其科学基础。在以后的发展历程中，进而相继出现了化工热力学、化学反应工程、传递过程、化工系统工程、化工过程动态学和过程控制等新的分支，使化学工程这门工程学科具备更完整的系统性、统一性，成为化学类型工业生产发展的理论基础，是本世纪化学类型工业持续进展的重要因素。

工业的发展，只有建立在技术进步的基础上，才能有速度、质量和水平。四十年代初，流态化技术应用于石油催化裂化过程，促使石油工业的面貌发生了划时代的变化。用气体扩散法提取铀235，从核燃料中提取钚，用精密蒸馏方法从普通水中提取重水，用发酵罐深层培养法大规模生产青霉素，建立在现代化工技术基础上的石油化学工业的兴起等等，——这些使人类生活面貌发生了重大变化。六十年代以来，化工系统工程的形成，系统优化数学模型的建立和电子计算机的应用，为化工装置实现大型化和高度自动化，最合理地利用原料和能源创造了条件，使化学工业的科研、设计、设备制造、生产发展踏上了一个技术上的新台阶。化学工程在发展过程中，既不断丰富本学科的内容，又开发了相关的交叉学科。近年来，生物化学工程分支的发展，为重要的高科技部门生物工程的兴起创造了必要的条件。可见，化学工程学科对于化学类型工业和应用化工技术的部门的技术进步与发展，有着至为重要的作用。

由于化学工程学科对于化工类型生产、科研、设计和教育的普遍重要性，在案头备有一部这一领域得心应手的工具书，是广大化工技术人员众望所趋。1901年，世界上第一部《化学工程手册》在英国问世，引起了人们普遍关注。1934年，美国出版了《化学工程师手册》，此后屡次修订，至1984年已出版第六版，这是一部化学工程学科最有代表性的手册。我国从事化学工程的科技、教育专家们，在五十年代，就曾共商组织编纂我国化学工程手册大计，但由于种种原因，迁延至七十年代末中国化工学会重新恢复活动后方始着手。值得庆幸的是，荟集我国化学工程界专家共同编纂的这部重要巨著终于问世了。手册共分26篇，先分篇陆续印行，为方便读者使用，现合订成六卷出版。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，向读者提供理论知识、实用方法和数据，也介绍了国外先进技术和发展趋势。希望这部手册对广大化学工程界科技人员的工作和学习有所裨益，能成为读者的良师益友。我相信，该书在配合当前化学工业尽快克服工艺和工程放大设计方面的薄弱环节，尽快消化引进的先进技术，缩短科研成果转化为生产力的时间等方面将会起积极作用，促进化工的发展。

我作为这部手册编纂工作的主要支持者和组织者，谨向《手册》编委会的编委、承担编

写、审校任务的专家、化学工程设计技术中心站、出版社工作人员以及对《手册》编审、出版工作做出贡献的所有同志，致以衷心的感谢，并欢迎广大读者对《手册》的内容和编排提出意见和建议，供将来再版时参考。

冯伟

1989年5月

前 言

化学工程是研究化工类型生产过程共性规律的一门技术科学，是化工类型生产重要的技术和理论基础。化学工程学科的内容主要包括：传递过程原理及化工单元操作；化学反应工程；化工热力学及化工基础数据；化工系统工程学等。研究和掌握化学工程，对于提高化工生产效率和经济效益，加速新技术的开发，提高科研、设计和生产技术水平，有着十分重要的作用。因此，对化学工业来说，化学工程是涉及提高技术水平的主要环节之一。

建国以来，我国的化学工程技术工作逐步发展，已经初步具有一定的基础，并取得了一定的成果。但是，目前国内还缺少一套较为完整实用的化学工程参考资料。编辑出版一套适合国内需要的，具有一定水平的《化学工程手册》，是化工技术工作者多年来的宿愿。早在五十年代和六十年代，国内的化学工程专家就曾酝酿和筹备组织编写《化学工程手册》，一九七五年化学工程设计技术中心站又曾组织讨论过编写计划。今天，在党中央提出加快实现四个现代化宏伟目标的鼓舞下，在化学工业部和中国化工学会的领导下，于一九七八年正式组成《化学工程手册》编委会，经过化工界许多同志的共同努力，《化学工程手册》终于与广大读者见面了。

希望这部手册的出版，将有助于国内的化工技术人员在工作中掌握和运用化学工程的科学技术原理，更好地处理和解决设计、科研和生产中遇到的化工技术问题。

本手册是一本通用性的工作手册。内容以实用为主，兼顾理论；读者对象为具有一定化工专业基础知识的工程技术人员和教学人员；内容取材注意了结合国内的情况和需要，并反映国内工作已取得的成果；对于国外有关的技术及数据，也尽量予以吸收。

根据当前国内的实际情况，计量单位一律采用“米-公斤(力)-秒”工程制(MKtS制)。但是考虑到我国将逐步过渡到采用国际单位制(SI)，除了在第一篇中列出详细的单位换算表外，并在每篇之末加列简明的MKtS制-SI换算表。

参加本手册编写工作的，有全国各有关的设计、科研和高等院校等共二十多个单位，近二百人。此外，还有其它许多单位和人员提供资料或间接参与手册的有关工作。《化学工程手册》编辑委员会负责指导手册工作的开展，研究和确定编审工作中一些原则问题，并负责书稿的最后审定工作。手册编写的日常组织工作，由化工部化学工程设计技术中心站负责。

本手册系按篇分册陆续出版，今后还将定期修订再版并出版合订本。希望广大读者对本手册提出宝贵意见，以便再版时改进。

《化学工程手册》编辑委员会

1979年7月

编辑说明

一、《化学工程手册》共26篇，原按篇分册印行，现分为六卷合订出版。

二、《化学工程手册》分篇单行本的编写工作始于1978年，1980年后陆续出版发行，1989年出齐。这次分卷合订本是利用原有纸型进行印刷的，对出版较早的篇章只能进行一定程度的修订，限于增补最必要的新内容，对近期出版的单行本只进行一些涉及技术内容的订正和印刷错误的勘正工作。

三、由于本手册着手编纂和出版时间较早，全书应用的是工程单位制，利用原纸型再印不能作全面修改，特在每卷附我国法定单位换算表，供读者查用。本手册修订再版时将采用法定计量单位。

四、本手册是中国化工学会、化学工业部化学工程设计技术中心和化学工业出版社共同组织的。参加手册编写和审稿工作的，有全国各有关的设计、科研和高等院校等二十多个单位，近二百位专家。此外还有其它许多单位和人员提供资料和间接参与手册的工作。

五、囿于条件，本手册中所采用的名词术语和符号可能有不尽统一之处，内容上也可能有重复、遗漏、甚至错误的地方，印刷、装帧等方面也不尽如人意，欢迎读者提出改进意见，在修订时一一予以考虑，以使本手册更臻完善。

目 录

1. 化工基础数据

概述

1.1 单位换算1-1

1.1.1 单位制1-1

表 1-1 国际单位制的基本单位
和辅助单位1-1

表 1-2 国际单位制用的十进词冠1-1

表 1-3 化工常用国际单位制专门
名称的导出单位1-2

1.1.2 单位换算表1-2

表 1-4 长度单位换算1-2

表 1-5 面积单位换算1-2

表 1-6 体积和容积单位换算1-2

表 1-7 重量和质量单位换算1-3

表 1-8 力单位换算1-3

表 1-9 密度和重度单位换算1-3

表 1-10 比重、波美度和API度
对照1-4

表 1-11 压力单位换算1-4

表 1-12 体积流率单位换算1-5

表 1-13 重量和质量流率单位换算1-5

表 1-14 动力粘度(粘度)单位
换算1-5

表 1-15 运动粘度单位换算1-5

表 1-16 功、能和热量单位换算1-6

表 1-17 功率单位换算1-6

表 1-18 热容(比热)单位换算1-6

表 1-19 导热系数单位换算1-6

表 1-20 传热系数单位换算1-7

表 1-21 扩散系数单位换算1-7

表 1-22 表面张力单位换算1-7

表 1-23 温度换算公式1-7

表 1-24 $^{\circ}\text{C}$ 与 $^{\circ}\text{F}$ 换算1-8

表 1-25 标准筛目对照1-9

表 1-26 中国线规与英、美、德、
线规对照1-11

参考文献1-11

1.2 通用常数和化工常用无因次数群1-12

1.2.1 通用常数1-12

(1) 气体常数R1-12

(2) 重力加速度g1-12

(3) 其它1-12

1.2.2 化工常用无因次数群1-12

表 2-1 化工常用无因次数群1-13

参考文献1-15

1.3 纯物质的物理性质1-16

1.3.1 元素和无机物的物理性质1-16

表 3-1 元素和无机物的物理性质1-18

表 3-2 表3-1中元素和无机物
的中文名称1-37

1.3.2 有机物的物理性质1-43

表 3-3 有机物的物理性质1-45

表 3-4 表3-3中有机物的中文
名称1-65

表 3-5 元素和无机物名称索引
(用于表3-1和表4-3)1-74

表 3-6 有机物名称索引(用于
表3-3、表4-4和表4-5)1-108

1.4 物质的热力学和传递性质1-163

1.4.1 常用物质的物性和热力学 数据1-163

表 4-1(a) 常用物质的物性和
热力学数据1-164

表 4-1(b) 表4-1(a)中物质的
中文名称1-188

1.4.2 蒸气压1-190

表 4-2 无机物蒸气压 ($\geq 1\text{atm}$)1-190

表 4-3 无机物蒸气压 ($\leq 1\text{atm}$)1-192

表 4-4 有机物蒸气压 ($\geq 1\text{atm}$)1-195

表 4-5 有机物蒸气压 ($\leq 1\text{atm}$)1-207

表 4-6 表4-3化合物中文名称1-209

表 4-7 表4-4化合物中文名称1-210

表 4-8 表4-5化合物中文名称1-216

1.4.3 重度	1-216	表 4-20 图4-18中的标号	1-244
表 4-9 图4-1中的X和Y值	1-216	1.4.7 熔融热	1-244
图 4-1 液体的重度	1-217	表 4-21 元素和无机物的熔融热	1-244
图 4-2 液化气体的比重	1-218	表 4-22 有机物的熔融热	1-245
表 4-10 各种液体常温下的比重	1-218	1.4.8 溶解热	1-246
图 4-3 酸和盐类水溶液的比重	1-218	表 4-23 常用无机物溶于水的溶解热	1-246
图 4-4 醇类水溶液的比重	1-219	表 4-24 某些有机物溶于水的溶解热	1-248
图 4-5 有机物水溶液的比重	1-219	1.4.9 升华热和吸附热	1-248
图 4-6 饱和水溶液的比重	1-219	表 4-25 某些物质的升华热	1-248
图 4-7 混合酸的比重	1-219	表 4-26 活性炭和硅胶的积分吸附热	1-249
图 4-8 烷烃液体的比重	1-220	表 4-27 不同类型活性炭上CO ₂ 的积分吸附热	1-249
图 4-9 烯烃、二烯烃液体的比重	1-220	1.4.10 生成热、生成自由能及燃烧热	1-250
表 4-11 其它常用物料的比重	1-221	(1) 生成热和生成自由能	1-250
1.4.4 溶解度	1-222	表 4-28 无机物的生成热和生成自由能	1-250
表 4-12 无机物质在水中的溶解度	1-222	表 4-29 有机物的生成热和生成自由能	1-257
表 4-13 一些气体水溶液的亨利系数值	1-229	(2) 燃烧热	1-259
1.4.5 热焓和热容	1-230	表 4-30 有机物的燃烧热	1-259
(1) 理想气体的热焓和热容	1-230	表 4-31 某些物质的燃烧热	1-262
表 4-14 某些理想气体的热焓、热容和熵的多项式	1-230	1.4.11 粘度	1-262
(2) 气体的热容	1-232	(1) 气体的粘度	1-262
图 4-10 气体和蒸气的热容	1-232	图 4-19 气体的粘度	1-262
表 4-15 图4-10中的标号	1-233	表 4-32 图4-19中的X和Y值	1-263
图 4-11 烷烃蒸气的热容	1-234	图 4-20 烷烃、烯烃、二烯烃、炔烃蒸气的粘度	1-264
图 4-12 烯烃蒸气的热容	1-235	(2) 液体的粘度	1-265
图 4-13 二烯烃、炔烃、二氯乙烷、乙腈蒸气的热容	1-236	图 4-21 液体的粘度	1-265
图 4-14 氮-氢-氨-氫-甲烷混合气的热容	1-237	表 4-33 图4-21中的X和Y值	1-266
(3) 液体的热容	1-238	图 4-22 烷烃液体的粘度	1-268
图 4-15 液体的热容	1-238	图 4-23 烯烃、二烯烃、炔烃液体的粘度	1-269
图 4-16 水溶液的热容	1-238	1.4.12 导热系数和Pr数	1-270
表 4-16 图4-15中的标号	1-239	(1) 气体的导热系数	1-270
图 4-17 烷烃、烯烃、二烯烃液体的热容	1-240	表 4-34 某些气体的导热系数	1-270
(4) 固体的热容	1-241	图 4-24 氮-氢-氨-氫-甲烷混合气的导热系数	1-270
表 4-17 固体的热容	1-241	图 4-25 正烷烃气体导热系数	1-271
1.4.6 蒸发潜热	1-241	图 4-26 异烷烃、烯烃气体导热系数	1-272
(1) 正常沸点蒸发潜热	1-241	图 4-27 二烯烃、炔烃、醇类气体	
表 4-18 元素和无机物的蒸发潜热	1-241		
表 4-19 有机物的蒸发潜热	1-242		
(2) 不同温度蒸发潜热	1-243		
图 4-18 蒸发潜热	1-243		

导热系数	1-273	(4) 临界压缩系数	1-343
(2) 液体的导热系数	1-274	(5) 混合物的临界常数	1-343
图 5-17 氟里昂-142 的压-焓图	1-314	1.6.2 偏心因子、Riedel 常数、 势能常数	1-343
图 5-18 甲烷的焓-熵图 (低温 段)	1-315	(1) 偏心因子	1-343
图 5-19 甲烷的焓-熵图 (高温 段)	1-316	(2) Riedel 常数	1-344
图 5-20 乙烷的焓-熵图	1-317	(3) 势能常数	1-345
图 5-21 乙烯的焓-熵图	1-318	1.6.3 沸点	1-346
图 5-22 丙烷的焓-熵图 (低温段)	1-319	1.6.4 蒸气压	1-347
图 5-23 丙烷的焓-熵图 (高温段)	1-320	(1) 纯液体的蒸气压	1-347
图 5-24 丙烯的焓-熵图 (低温段)	1-321	(2) 与不凝性气体共存时的 蒸汽压	1-350
图 5-25 丙烯的焓-熵图 (高温段)	1-322	1.6.5 P-V-T 关系	1-350
图 5-26 丁烷的焓-熵图	1-323	(1) 几种常用的状态方程式	1-350
表 5-17 二氧化碳的性质	1-324	(2) 两参数的通用图	1-350
图 5-27 二氧化碳的温-熵图	1-325	(3) Pitzer-Curl 法	1-350
表 5-18 氯的性质	1-326	(4) 液体的密度	1-351
图 5-28 氯的压-焓图	1-327	(5) 液体的体胀系数	1-359
图 5-29 氢的温-熵图 (0~150K)	1-328	1.6.6 热容和热焓	1-359
表 5-19 标准氢 ($n-H_2$) 的性质	1-329	(1) 气体的热容	1-359
图 5-30 氢的温-熵图 (130~300K)	1-329	(1.1) 理想气体的热容	1-359
表 5-20 饱和氮的性质	1-330	(1.2) 真实气体的热容	1-361
图 5-31 氮的温-熵图	1-330	(2) 液体的热容	1-361
图 5-32 氧的温-熵图	1-331	(3) 热焓	1-365
表 5-21 饱和氧的性质	1-332	(4) 固体在常温下的热容	1-374
图 5-33 氧-氮混合物的焓-浓图	1-332	1.6.7 蒸发潜热	1-375
图 5-34 氨-水的焓-浓图	1-333	(1) 正常沸点下的蒸发潜热	1-375
图 5-35 盐酸-水的焓-浓图	1-334	(2) 蒸发潜热	1-376
图 5-36 溴化锂水溶液的焓-浓图	1-335	(3) 蒸发潜热与温度的关系	1-376
1.5.5 载热体的性质	1-336	1.6.8 熔融热	1-376
表 5-22 熔盐混合物的物理参数	1-336	1.6.9 升华热	1-377
表 5-23 亚硝酸盐及硝酸盐混合 物的熔点	1-336	1.6.10 溶解热	1-377
图 5-37 熔盐混合物含水率与熔 点的关系	1-336	1.6.11 生成热	1-377
表 5-24 有机高温载热体的物性	1-337	1.6.12 粘度	1-382
表 5-25 熔融金属的物性	1-338	(1) 气体粘度	1-382
参考文献	1-339	(2) 液体粘度	1-386
1.6 物性的计算方法	1-340	图 4-28 液体的导热系数	1-274
1.6.1 临界性质	1-340	图 4-29 烷烃液体导热系数	1-275
(1) 临界温度	1-340	图 4-30 烯烃、二烯烃、炔烃 液体导热系数	1-276
(2) 临界压力	1-341	(3) 固体的导热系数	1-277
(3) 临界体积	1-341	表 4-35 固体材料的导热系数	1-277
		(4) Pr 数	1-277
		图 4-31 气体的 Pr 数	1-277

图 4-32 液体的Pr数.....	1-278	表 5-1 饱和水和饱和水蒸汽的 热力学性质 (一)	1-289
表 4-36 图4-32中的标号.....	1-278	表 5-2 饱和水和饱和水蒸汽的热 力学性质 (二).....	1-290
1.4.13 扩散系数和Sc数	1-279	表 5-3 饱和水的物理参数	1-291
(1) 气体的扩散系数和Sc数	1-279	表 5-4 饱和水蒸汽的物理参数	1-292
表 4-37 气体的自扩散系数.....	1-279	表 5-5 未饱和水和过热蒸汽的比 容和焓	1-293
表 4-38 某些气体二组分扩散系数.....	1-279	图 5-1 水蒸汽的温-熵图.....	1-296
表 4-39 一些物质在空气中扩散 的Sc数	1-280	(2) 过热水蒸汽性质的状态图	1-297
表 4-40 一些二组分气体扩散 的Sc数	1-281	图 5-2 过热水蒸汽的焓	1-297
(2) 液体的扩散系数和Sc数	1-281	图 5-3 过热水蒸汽的重度	1-297
表 4-41 某些液体的自扩散系数.....	1-281	图 5-4 过热水蒸汽的热容	1-298
表 4-42 某些液体二组分扩散系数.....	1-281	图 5-5 过热水蒸汽的导热系数.....	1-298
表 4-43 某些液体的Sc数.....	1-282	图 5-6 过热水蒸汽的动力粘度.....	1-299
1.4.14 表面张力	1-283	图 5-7 过热水蒸汽的Pr-t图.....	1-300
(1) 液体、液体混合物和溶 液的表面张力	1-283	1.5.2 空气.....	1-300
图 4-33 有机液体的表面张力.....	1-283	表 5-6 干空气的物理参数	1-300
表 4-44 图4-33中的X和Y值	1-284	图 5-8 空气的温-熵图.....	1-301
图 4-34 液体混合物的表面张力.....	1-285	1.5.3 烟道气.....	1-302
图 4-35 有机同系物稀水溶液的 表面张力	1-285	表 5-7 烟道气的物理参数	1-302
表 4-45 图4-35曲线号所代表的 化合物	1-285	1.5.4 低温介质和其他物质.....	1-302
图 4-36 水溶液的表面张力.....	1-285	表 5-8 氢的性质	1-302
(2) 液体对空气的表面张力	1-286	图 5-9 氢的温-熵图.....	1-303
表 4-46 液体对空气的表面张力.....	1-286	表 5-9 氟里昂-11的性质.....	1-304
表 4-47 空气与水接触的表面张力.....	1-286	图 5-10 氟里昂-11的压-焓图	1-304
(3) 界面张力	1-287	表 5-10 氟里昂-12的性质.....	1-305
图 4-37 有机液体与水的界面张力.....	1-287	图 5-11 氟里昂-12的压-焓图	1-306
图 4-38 有机液体中水的溶解度 与界面张力的关系	1-287	表 5-11 氟里昂-13的性质.....	1-307
表 4-48 水银与几种物质的界面张 力	1-287	图 5-12 氟里昂-13的压-焓图	1-307
1.4.15 热膨胀系数	1-287	表 5-12 氟里昂-22的性质.....	1-308
表 4-49 某些液体的体胀系数.....	1-287	图 5-13 氟里昂-22的压-焓图	1-309
表 4-50 一些固体的体胀系数.....	1-288	表 5-13 氟里昂-40的性质.....	1-310
表 4-51 一些固体的线胀系数.....	1-288	图 5-14 氟里昂-40的压-焓图	1-310
参考文献	1-288	表 5-14 氟里昂-113的性质	1-311
1.5 常用物质的热力学及有关 性质	1-289	图 5-15 氟里昂-113的压-焓图.....	1-312
1.5.1 水和水蒸汽.....	1-289	表 5-15 氟里昂-114的性质	1-313
(1) 水和水蒸汽图表.....	1-289	图 5-16 氟里昂-114的压-焓图.....	1-313
		表 5-16 氟里昂-142的性质	1-314
		1.6.13 导热系数	1-392
		(1) 气体	1-392
		(2) 液体导热系数	1-399
		(3) 液-固悬浮体的导热系数.....	1-403
		(4) 多孔介质的导热系数	1-403

(5) Pr数	1-403
1.6.14 扩散系数	1-404
(1) 气体	1-404
(2) 液体	1-407
(3) Sc数	1-410
1.6.15 表面张力	1-410
(1) 纯物质的表面张力	1-410
(2) 表面张力随温度的变化	1-412

(3) 非水溶液混合物的表面张力	1-412
(4) 含水溶液的表面张力	1-413
参考文献	1-415
附录	1-416
1. 风力等级与风速的关系	1-416
2. 高压空气的饱和湿度	1-416
3. 希腊字母表	1-416
4. 元素周期表	插页

2. 化工应用数学

概述	2-1
----------	-----

2.1 数学用表	2-2
----------------	-----

2.1.1 乘方、方根表	2-2
--------------------	-----

(1) 平方表	2-2
---------------	-----

(2) 开方表	2-4
---------------	-----

(3) 倒数表	2-8
---------------	-----

2.1.2 常用对数表	2-10
-------------------	------

2.1.3 自然对数表	2-12
-------------------	------

2.1.4 指数函数 e^x 和 e^{-x} 表	2-18
-------------------------------------	------

2.1.5 弓形高、面积、半径之间 的关系表	2-19
---------------------------------	------

2.1.6 球缺高、体积、直径之间 的关系表	2-20
---------------------------------	------

2.1.7 常用常数表	2-21
-------------------	------

2.2 统计用表	2-22
----------------	------

2.2.1 正态分布的密度函数表	2-22
------------------------	------

2.2.2 正态分布表	2-23
-------------------	------

2.2.3 正态分布的双侧分位数(U_α)表	2-25
--	------

2.2.4 χ^2 分布表	2-26
--------------------------	------

2.2.5 χ^2 分布的上侧分位数(χ^2_α)表	2-28
---	------

2.2.6 t分布表	2-29
------------------	------

2.2.7 t分布双侧分位数(t_α)表	2-30
-------------------------------------	------

2.2.8 F检验的临界值(F_α)表	2-31
------------------------------------	------

2.2.9 检验相关系数 $\rho=0$ 的临界值 (r_α)表	2-36
---	------

2.2.10 r与Z的换算表	2-36
----------------------	------

2.2.11 二项分布表	2-37
--------------------	------

2.2.12 二项分布参数P的置信区间表	2-39
-------------------------------	------

2.2.13 Poisson分布表	2-43
-------------------------	------

2.2.14 Poisson分布参数 λ 的置信区 间表	2-48
---	------

2.2.15 正交多项式表	2-48
---------------------	------

2.2.16 正交拉丁方表	2-51
---------------------	------

2.2.17 正交表	2-53
------------------	------

2.2.18 随机数表	2-74
-------------------	------

2.3 图形公式	2-76
----------------	------

2.3.1 平面图形	2-76
------------------	------

(1) 直线围成的平面图形	2-76
---------------------	------

(2) 曲线围成的平面图形	2-77
---------------------	------

2.3.2 立体图形	2-79
------------------	------

(1) 平面围成的立体图形	2-79
---------------------	------

(2) 曲面围成的立体图形	2-79
---------------------	------

2.3.3 基本初等函数及其图形	2-82
------------------------	------

(1) 幂函数 $y=x^a$ (a 为常数)	2-82
----------------------------------	------

(2) 指数函数 $y=a^x$ ($a>0, a\neq 1$)	2-82
---	------

(3) 对数函数 $y=\log_a x$ ($a>0, a\neq 1$)	2-82
---	------

(4) 三角函数	2-82
----------------	------

(5) 反三角函数	2-83
-----------------	------

(6) 双曲函数	2-84
----------------	------

(7) 反双曲函数	2-85
-----------------	------

(8) 正弦衰减振荡曲线	2-85
--------------------	------

(9) 正态分布曲线	2-85
------------------	------

2.4 概论	2-86
--------------	------

2.5 代数	2-89
--------------	------

2.5.1 代数式及其运算	2-89
---------------------	------

(1) 基本运算律	2-89
-----------------	------

(2) 幂的运算律	2-89
-----------------	------

(3) 乘法和因式分解公式	2-89
---------------------	------

2.5.2 二项式定理	2-89
-------------------	------

2.5.3 数列	2-90
----------------	------

(1) 等差数列	2-90
----------------	------

(2) 等比数列	2-90
----------------	------

(3) 某些数列的前n项之和	2-90
----------------------	------

2.5.4 排列、组合	2-90	(1) 几个近似等式	2-100
(1) 排列	2-90	(2) 一些常用的不等式	2-101
(2) 组合	2-90	(3) 三角函数的幂级数展开式	2-101
2.5.5 自然数之幂的求和公式	2-91	2.7 解析几何	2-102
2.5.6 对数及其运算规律	2-91	2.7.1 平面解析几何	2-102
(1) 定义	2-91	(1) 坐标系	2-102
(2) 性质	2-91	(2) 基本公式	2-103
(3) 运算法则	2-91	(3) 直线	2-103
(4) 换底公式	2-91	(4) 曲线与方程	2-104
2.5.7 合比、分比	2-92	(5) 圆锥曲线	2-105
2.5.8 不等式	2-92	(6) 极坐标	2-107
(1) 不等式的基本性质	2-92	(7) 参数方程	2-110
(2) 绝对值不等式	2-92	(8) 坐标变换公式	2-111
(3) 常用不等式	2-92	2.7.2 立体解析几何	2-112
2.5.9 方程式论	2-93	(1) 坐标系	2-112
(1) 线性方程组	2-93	(2) 基本公式	2-113
(2) 一元二次方程	2-94	(3) 空间平面方程与直线方程	2-113
(3) 一元三次方程	2-94	(4) 空间曲线	2-114
(4) 一元四次方程	2-94	(5) 曲面	2-114
(5) 一元 n 次方程	2-95	2.8 微积分	2-118
(6) 一些重要定理	2-95	2.8.1 微分学	2-118
2.6 平面三角	2-96	(1) 函数	2-118
2.6.1 角与三角函数	2-96	(2) 极限	2-118
(1) 角	2-96	(3) 连续	2-119
(2) 三角函数	2-96	(4) 导数与微分	2-119
2.6.2 诱导公式	2-97	(5) 一元函数的极值与曲线的拐点	2-122
2.6.3 特殊角的三角函数值	2-97		2-122
2.6.4 三角恒等式	2-97	(6) L'Hospital法则	2-122
(1) 同角三角函数之间的关系	2-97	(7) 多元函数	2-122
(2) 两角和(差)的三角函数	2-97	2.8.2 积分学	2-126
(3) 三角函数的和差与积的关系	2-98	(1) 不定积分	2-126
(4) 倍角与半角的三角函数	2-98	(2) 定积分	2-141
(5) 三角之和为 180° 的三角函数间	2-98	(3) 广义积分	2-143
的关系	2-98	(4) 定积分表	2-144
2.6.5 三角形边角关系及其解法	2-99	(5) 几个不能用初等函数表出的原	2-146
(1) 正弦定理	2-99	函数的级数形式	2-146
(2) 余弦定理	2-99	(6) 椭圆积分	2-146
(3) 正切定理	2-99	(7) Γ -函数	2-147
(4) 其它关系	2-99	(8) B-函数	2-148
(5) 直角三角形解法	2-99	(9) 二重积分	2-148
(6) 斜三角形解法	2-100	(10) 三重积分	2-150
2.6.6 有关反三角函数的一些恒等式	2-100	(11) 曲线积分	2-150
2.6.7 三角函数值的近似计算	2-100	(12) 曲面积分	2-152
		(13) 积分应用	2-154

(14) n 重积分	2-156	(3) 矢量场的散度	2-174
(15) 换元Jacobi	2-156	(4) 矢量场的旋度	2-175
2.9 无穷级数	2-158	(5) 几种重要的矢量场	2-176
2.9.1 常数项级数	2-158	(6) Hamilton算子	2-176
(1) 基本概念	2-158	(7) 梯度、散度、旋度在柱面坐标	
(2) 几个常见的级数	2-158	和球面坐标下的表示式	2-177
(3) 收敛级数的基本性质	2-158	2.11 复变函数	2-178
2.9.2 级数收敛的判别准则	2-159	2.11.1 复变及其运算	2-178
(1) 正项级数收敛法	2-159	(1) 复数的表示法	2-178
(2) 任意项级数收敛法	2-159	(2) 复数的运算	2-178
2.9.3 幂级数	2-160	(3) 共轭复数	2-179
(1) 定义	2-160	2.11.2 复变函数	2-179
(2) 收敛半径和收敛区间	2-160	(1) 区域和曲线	2-179
(3) 性质	2-160	(2) 复变函数与映射	2-180
2.9.4 Taylor级数	2-161	(3) 初等函数	2-181
(1) Taylor级数	2-161	2.11.3 解析函数	2-182
(2) 几个常见的幂级数展开式	2-161	(1) 复变函数的导数	2-182
2.9.5 Fourier级数	2-162	(2) Cauchy-Riemann方程	2-182
(1) Fourier级数	2-162	(3) 解析函数的性质	2-183
(2) 几个函数的Fourier级数展开式		2.11.4 保角映射	2-183
.....	2-163	(1) 保角映射的定义	2-183
2.9.6 无穷乘积	2-165	(2) 几个基本的映射	2-183
(1) 基本概念	2-165	(3) 分式线性映射	2-184
(2) 收敛条件	2-165	(4) 一些常用的映射	2-184
(3) 绝对收敛	2-166	2.11.5 复变函数的积分	2-186
(4) 几个无穷乘积	2-166	(1) 积分的定义	2-186
2.10 矢量及场	2-168	(2) 积分定理	2-186
2.10.1 矢量代数	2-168	2.11.6 级数展开	2-187
(1) 矢量概念	2-168	(1) Taylor级数	2-187
(2) 矢量的加减法及数乘	2-168	(2) Laurent级数	2-188
(3) 共线矢量与共面矢量	2-168	2.11.7 留数	2-189
(4) 矢量的坐标	2-168	(1) 孤立奇点	2-189
(5) 矢量的方向余弦	2-169	(2) 留数	2-189
(6) 矢量在轴上的投影	2-169	(3) 定积分的计算	2-190
(7) 两矢量的数量积	2-169	2.12 微分方程	2-192
(8) 两矢量的矢量积	2-169	2.12.1 常微分方程	2-192
(9) 三矢量的积	2-170	(1) 一阶常微分方程	2-193
2.10.2 矢量分析	2-170	(2) 高阶常微分方程	2-198
(1) 矢性函数	2-170	(3) 特殊微分方程	2-203
(2) 矢性函数的微分法	2-171	(4) 微分方程组	2-205
(3) 矢性函数的积分	2-172	(5) 线性微分方程组	2-207
2.10.3 场论	2-173	(6) 一阶方程始值问题的数值解法	
(1) 数量场和矢量场	2-173		2-208
(2) 数量场的梯度	2-173	(7) 常微分方程的二点边值问题	

.....	2-211	(4) 卷积定理	2-247
2.12.2 偏微分方程	2-212	(5) 反演公式	2-248
(1) 一阶偏微分方程	2-213	(6) 拉氏变换应用举例	2-249
(2) 数学物理方程	2-214	2.15.3 Z 变换	2-250
(3) 解数学物理方程的一些方法	2-216	(1) Z 变换的定义	2-250
(4) 偏微分方程的差分解法	2-221	(2) Z 变换的基本性质	2-251
2.12.3 稳定性理论简介	2-227	(3) Z 变换在线性差分方程求解中	2-252
(1) 运动稳定性的若干定义	2-227	的应用	2-252
(2) 运动稳定性的判别法	2-227	2.15.4 积分变换表	2-253
2.13 差分方程	2-229	(1) Fourier 变换表	2-253
2.13.1 差分	2-229	(2) Laplace 变换表	2-254
(1) 向前差分	2-229	(3) Z 变换表	2-255
(2) 向后差分与中心差分	2-229	2.16 线性代数	2-256
(3) 运算子 E	2-230	2.16.1 行列式	2-256
2.13.2 差分方程	2-230	(1) 二阶行列式	2-256
2.13.3 线性差分方程	2-231	(2) 三阶行列式	2-256
(1) 线性差分方程及其解的结构	2-231	(3) n 阶行列式	2-256
(2) 常系数线性齐次差分方程	2-231	2.16.2 矩阵	2-260
(3) 常系数线性非齐次差分方程	2-233	(1) 矩阵的概念	2-260
2.13.4 常数变易法	2-234	(2) 矩阵的运算	2-261
2.13.5 Riccati 差分方程	2-235	(3) 分块矩阵、准对角矩阵	2-263
2.14 积分方程	2-237	(4) 逆阵	2-265
2.14.1 积分方程的分类	2-237	(5) 矩阵的秩	2-267
2.14.2 积分方程与微分方程之间的关系	2-237	(6) 矩阵的初等变换、初等阵	2-267
2.14.3 积分方程的求解方法	2-239	2.16.3 线性方程组	2-270
(1) 卷积型积分方程	2-239	(1) 线性方程组的矩阵形式及相容性	2-270
(2) 退化核积分方程	2-239	(2) 线性方程组的解法	2-270
(3) 逐次逼近法	2-240	2.16.4 线性空间	2-276
2.15 积分变换	2-242	(1) 线性空间的概念	2-276
2.15.1 Fourier 变换	2-242	(2) 向量的线性相关与线性无关	2-276
(1) Fourier 积分	2-242	(3) 维数、基底、坐标	2-277
(2) 余弦变换和正弦变换	2-244	(4) 基变换和坐标变换	2-279
(3) 单位脉冲函数	2-244	(5) 线性齐次方程组的基础解系	2-281
(4) Fourier 变换的基本性质	2-245	2.16.5 线性变换	2-281
(5) 卷积定理	2-245	(1) 线性变换的概念和运算	2-281
(6) Fourier 变换应用举例	2-246	(2) 线性变换的矩阵、相似矩阵	2-282
2.15.2 Laplace 变换	2-246	(3) 特征值和特征向量	2-285
(1) Laplace 积分	2-246	(4) 矩阵的对角化	2-288
(2) 拉氏变换的存在性	2-246	2.16.6 Euclid 空间和正交变换	2-289
(3) 拉氏变换的基本性质	2-247	(1) n 维 Euclid 空间的概念	2-289

(2) 正交、正交基、标准正交基2-289	(1) 概述2-366
(3) 正交矩阵、标准正交基的基变换2-291	(2) 总体、样本和随机取样2-366
(4) 正交变换2-292	(3) 样本特征值2-367
2.16.7 二次型和对称矩阵2-292	(4) 抽样分布2-368
(1) 二次型及其矩阵表示2-292	(5) 参数估计2-369
(2) 二次型的标准形2-293	(6) 假设检验2-371
(3) 正定二次型、正定矩阵2-297	(7) 回归分析2-376
2.17 应用近世代数初步2-298	(8) 实验设计与方差分析2-385
2.17.1 Boole代数初步2-298	2.20 电子计算机上的一些常用方法2-398
(1) 集合及其运算2-298	2.20.1 函数插值与数值微分2-398
(2) 命题及逻辑运算2-299	(1) Lagrange插值多项式2-398
(3) Boole代数的恒等式和法则.....2-300	(2) 二元函数插值2-401
2.17.2 群论简介2-302	(3) 样条函数, 三次样条插值2-403
(1) 半群与群2-302	2.20.2 数值积分2-406
(2) 子群与商群2-303	(1) 等距结点的Newton-Cotes积分 公式.....2-406
(3) 典型群2-303	(2) Simpson法求积.....2-407
2.17.3 图论初介2-305	(3) Romberg求积2-410
(1) 无向图, 图2-305	(4) Gauss求积.....2-410
(2) 图的关联矩阵, 邻接矩阵2-306	(5) 重积分求积公式2-412
(3) 连通图, 回路, 割点与割集2-306	2.20.3 非线性方程(组)的数值方法2-414
(4) 树、图的生成树2-307	(1) 单变量方程的求根2-414
(5) 有向图2-308	(2) 非线性方程组2-417
(6) 网络, 流2-309	2.20.4 常微分方程数值解2-420
2.18 最优化2-311	2.20.5 拟合与平滑2-420
2.18.1 定常系统最优化2-311	(1) 最小二乘曲线拟合2-420
(1) 微分法2-311	(2) 曲部平滑2-422
(2) 探索法2-312	2.20.6 线代数计算2-424
(3) 规划法2-320	(1) 线性代数方程组的解法2-424
2.18.2 非定常系统最优化2-332	(2) 行列式求值及矩阵求逆2-429
(1) 动态规划法2-332	(3) 矩阵特征值与特征向量的计算2-430
(2) 极大值原理2-334	附录2-434
(3) 变分法2-337	(1) Cotes系数表2-434
2.19 概率和统计2-341	(2) Gauss-Legendre求积公式的结 点及系数2-434
2.19.1 概率论2-341	(3) Gauss-Lagurre求积公式的结点 及系数2-436
(1) 随机事件及其概率2-341	(4) 广义Gauss-Lagurre积分公式的 结点及系数.....2-439
(2) 随机变数及其分布2-345	(5) Gauss-Hermite积分公式的结 点及系数2-439
(3) 数字特征, 矩, 特征函数2-349	
(4) 几种常用的分布函数2-352	
(5) 大数定律与中心极限定理2-354	
(6) 随机过程2-355	
2.19.2 统计方法和分析2-366	