

PRINCIPLE OF  
TRANSPORT PROCESSES  
IN  
METALLURGY

# 冶金传递过程原理

梅 焱 编 著

中南工业大学出版社

72.031  
547

梅 焱 编 著

Mei Chi

# 冶金传递过程原理

Principle of Transport Processes in Metallurgy

中 南 工 业 大 学 出 版 社

# 冶金传递过程原理

梅 焯 编著

责任编辑：刘道德

\*

中南工业大学出版社出版发行

中南工业大学出版社印刷厂印装

湖南省新华书店经销

\*

开本：787×1092 1/16 印张：29.25 字数：748千字

1987年9月第1版 1987年9月第1次印刷

印数：0001—3000

\*

ISBN7-81020-062-3/TF·004

统一书号：15442·024 定价：4.80元

## 前 言

冶金科学与工程现代化需要加强对冶金单元操作 (Unit operations) 与单元过程 (Unit processes) 的基本原理与计算方法的研究, 并使这些研究逐步向定量化与精确化方向发展。现在已经很清楚, 各种单元操作与单元过程的基本原理中的共同基础部分可归纳为动量、热量与质量传递, 而三种传递现象在机理与数学描述上是彼此类似的。本教材就是按这一指导思想对原设有关课程内容进行改革的一次尝试。希望通过本课程的学习, 能较系统地掌握有关流体力学与动量传递、热量传递及质量传递的一般原理与应用。编写中着重阐明各传递过程的物理概念, 突出分析问题的思路和方法, 落实到解决工程实际应用的应用。考虑到冶金类专业的特点, 教材中尽量避免复杂的数学方法和冗长的数学推演, 具有一般工程应用数学的基础即可阅读。

本书作为教材从1983年开始曾在国内有些单位的研究生与本科生中试用, 此次正式出版前又作了些删改和补充。在编写与试用过程中, 中南工业大学傅崇说教授与热能工程教研室的同志们曾给予热情鼓励与支持, 作者对他们深表谢意。由于水平有限, 书中的缺点和错误在所难免, 恳切希望得到广大读者的批评指正。

梅焜

1986.5.

## 作者简介



梅炽教授 1934年出生于湖南省常德市，1956年于中南矿冶学院有色冶金系毕业后留校任教，曾任冶金炉教研室副主任、中南工业大学高等教育研究室副主任、图书馆馆长。现任中南工业大学副校长。

梅炽教授长期从事冶金炉热工理论与设计，冶金热工设备数学模拟等方面的教学与研究工作。编写出版的著作有：《有色冶金炉》（1960）、《有色冶金炉设计与计算（参考资料）》（1973）、《重有色冶金炉设计参考资料》（1979）、《冶金炉热工基础》（1980）等。

212471/04  
212471/50

# 目 录

绪 论	( 1 )
一、传递过程原理的研究对象	( 1 )
二、“三传”间的类似性	( 1 )
三、本课程在冶金专业教学中的作用	( 1 )
四、关于因次与单位	( 3 )
单位换算习题	( 6 )

## 第一篇 流体力学基础与动量传递

第一章 流体基本性质与静压平衡方程	( 9 )
§ 1—1 流体的分散性与连续介质模型	( 9 )
一、流体的分散性	( 9 )
二、连续介质模型	( 9 )
§ 1—2 流体的压缩性与不可压缩模型	( 10 )
一、流体的密度、重度与比容	( 10 )
二、液体的压缩性与热胀性	( 11 )
三、气体的压缩性与热胀性	( 11 )
四、流体的不可压缩模型	( 12 )
§ 1—3 流体的粘性与理想流体模型	( 12 )
一、牛顿内摩擦定律	( 12 )
二、流体的粘度	( 13 )
三、理想流体模型	( 15 )
§ 1—4 牛顿流体与非牛顿流体	( 15 )
§ 1—5 流体的静压	( 16 )
一、静压的物理概念	( 16 )
二、绝对压力、相对压力(表压)与真空度	( 17 )
三、压力的量度与单位	( 18 )
§ 1—6 流体静压平衡方程	( 19 )
一、流体平衡微分方程	( 19 )
二、重力场中的流体平衡方程	( 20 )
§ 1—7 气体的位压头与静压头	( 22 )
一、位压头	( 22 )
二、静压头	( 23 )
第一章 思考题与习题	( 25 )

<b>第二章 流体流动基本方程</b> .....	( 28 )
§ 2—1 流体流动基本概念.....	( 28 )
一、流量与流速.....	( 28 )
二、稳定流动和不稳定流动.....	( 29 )
三、管流与射流.....	( 29 )
§ 2—2 流动型态.....	( 29 )
一、层流与紊流.....	( 29 )
二、雷诺准数的物理意义.....	( 30 )
三、紊流的脉动性与时均化.....	( 31 )
§ 2—3 边界层概念.....	( 31 )
一、平板上流动边界层.....	( 31 )
二、圆管内流动边界层.....	( 33 )
§ 2—4 圆管内流动的速度分布.....	( 34 )
一、层流时圆管中的流速分布.....	( 34 )
二、紊流时圆管内的流速分布.....	( 36 )
§ 2—5 流动质量平衡——连续性方程.....	( 38 )
一、连续性微分方程.....	( 38 )
二、管流(一维流动)连续性方程.....	( 39 )
§ 2—6 理想流体动量传递方程——欧拉流动微分方程.....	( 40 )
§ 2—7 粘性流体流动动量传递方程——奈维-斯托克斯方程.....	( 42 )
§ 2—8 流体机械能平衡方程——伯努利方程.....	( 47 )
一、理想流体微小流束的伯努利方程.....	( 47 )
二、管流的伯努利方程.....	( 48 )
三、动能修正系数.....	( 50 )
四、实际流体的伯努利方程.....	( 51 )
五、在大气中的气流能量平衡方程.....	( 51 )
§ 2—9 流体流动的总能量平衡.....	( 52 )
§ 2—10 能量方程应用举例.....	( 54 )
一、孔口流出问题.....	( 54 )
二、流量测量.....	( 57 )
三、流体输送的压力与功率.....	( 59 )
§ 2—11 稳定流的动量平衡——动量方程.....	( 61 )
<b>第二章 思考题与习题</b> .....	( 65 )
<b>第三章 流动阻力与管路计算</b> .....	( 70 )
§ 3—1 概述.....	( 70 )
§ 3—2 层流时圆管中沿程阻力及达西公式.....	( 70 )
§ 3—3 紊流时圆管中的沿程阻力.....	( 73 )
§ 3—4 非圆形管中的沿程阻力.....	( 78 )

§ 3—5 管道流的局部阻力·····	( 80 )
一、局部阻力的形成及一般计算公式·····	( 80 )
二、局部阻力系数·····	( 81 )
三、局部阻力之间的相互干扰·····	( 84 )
§ 3—6 稳定流动管路计算举例·····	( 85 )
一、简单管路·····	( 85 )
二、并联管路·····	( 90 )
第三章 思考题与习题·····	( 94 )
<b>第四章 压缩性气体流动</b> ·····	( 97 )
§ 4—1 压力波、音速与流体的可压缩性·····	( 97 )
§ 4—2 压缩性气流的能量方程·····	( 98 )
§ 4—3 压缩性气体流动的连续性方程·····	( 100 )
§ 4—4 压缩性气流中各参数的变化规律·····	( 102 )
一、滞止参数·····	( 102 )
二、临界参数·····	( 105 )
§ 4—5 压缩性气体经管嘴与拉伐尔喷管的流动·····	( 105 )
一、压缩性气体经管嘴或孔口流出·····	( 105 )
二、拉伐尔喷管·····	( 107 )
§ 4—6 压缩性气体等温流动·····	( 110 )
一、基本公式·····	( 110 )
二、压降公式·····	( 111 )
三、流量公式·····	( 112 )
第四章 思考题与习题·····	( 113 )
<b>第五章 气体喷射流</b> ·····	( 114 )
§ 5—1 等温自由射流的特性·····	( 114 )
一、卷吸(引射)效应·····	( 114 )
二、动量守恒·····	( 115 )
三、几何特征·····	( 115 )
四、横截面速度分布·····	( 116 )
五、射流中心速度·····	( 116 )
六、断面流量·····	( 117 )
* § 5—2 射流中的热量与质量传递——温差与浓差射流·····	( 120 )
一、横截面温差与浓差·····	( 120 )
二、射流中心温差与浓差·····	( 120 )
三、截面平均温差·····	( 121 )
四、射流弯曲·····	( 122 )
§ 5—3 两射流间的相互作用·····	( 123 )



一、相交射流·····	(123)
二、平行射流与同心射流·····	(124)
§ 5—4 射流与平壁相遇·····	(124)
一、靠近平面的平射射流·····	(124)
二、冲向平壁的射流·····	(125)
第五章 思考题与习题·····	(126)
<b>第六章 流—固两相流·····</b>	<b>(127)</b>
§ 6—1 概述·····	(127)
§ 6—2 颗粒体的几何特征·····	(127)
一、单个颗粒大小的表示法·····	(127)
二、粒度分布与平均粒径·····	(128)
三、颗粒形状系数·····	(130)
四、颗粒填充层(散料层)的空隙率·····	(131)
§ 6—3 滤过流·····	(131)
一、固定床的堆积密度与真密度·····	(131)
二、固定床的有效重量·····	(131)
三、滤过流压降·····	(132)
四、滤过流沿横截面的分布·····	(135)
§ 6—4 流化床·····	(136)
一、流态化过程概述·····	(136)
二、临界流化速度·····	(138)
三、带出速度·····	(140)
四、流化床的压降与膨胀比·····	(145)
五、气—固流化床内气体与颗粒运动模型·····	(146)
* § 6—5 悬浮流(载流输送)·····	(148)
一、悬浮流动特性·····	(148)
二、悬浮流的安全流速·····	(150)
三、悬浮流动的压降·····	(152)
四、速度比·····	(155)
第六章 思考题与习题·····	(158)
<b>*第七章 流体输送设备·····</b>	<b>(160)</b>
§ 7—1 概述·····	(160)
§ 7—2 离心式泵与风机·····	(160)
一、工作原理·····	(160)
二、离心式泵与风机的主要性能参数·····	(161)
三、特性曲线·····	(162)
四、管路特性与工况点·····	(163)

五、泵与风机的工况调节	(164)
六、离心式泵及风机的并联与串联	(165)
七、选用原则	(166)
八、离心式泵的汽蚀现象与安装高度	(168)
§ 7—3 烟囱	(170)
一、烟囱的作用	(170)
二、工作原理	(171)
三、烟囱尺寸计算	(173)
§ 7—4 喷射器	(176)
一、工作原理	(176)
二、喷射基本方程	(177)
三、带扩张增压管的喷射器	(178)
四、喷射器效率与应用	(179)
第七章 思考题与习题	(180)

## 第二篇 传 热 原 理

第八章 传热概论	(185)
§ 8—1 基本传热方式	(185)
§ 8—2 温度场与热态	(185)
§ 8—3 传热速率、传热系数与热阻	(186)
第九章 稳定态导热	(188)
§ 9—1 导热的基本定律	(188)
§ 9—2 导热系数及不同物质的导热机理	(188)
一、气体导热	(189)
二、液体导热	(190)
三、金属导热	(190)
四、非金属固体及多孔材料的导热	(191)
§ 9—3 平壁导热	(192)
一、单层平壁导热	(192)
二、多层平壁导热	(194)
三、中间温度	(195)
§ 9—4 圆筒壁导热	(197)
一、单层圆筒壁导热	(197)
二、多层圆筒壁导热	(198)
* § 9—5 接触热阻	(199)
§ 9—6 固体导热微分方程	(201)
一、付立叶导热微分方程	(201)

二、定解条件.....	( 202 )
§ 9—7 二维导热问题的数值解法 (有限差分法) .....	( 203 )
一、有限差分法的基本原理.....	( 203 )
二、稳定态二维导热的差分方程——结点方程.....	( 205 )
三、结点方程组的求解.....	( 207 )
第九章 思考题与习题.....	( 211 )
<b>第十章 对流给热.....</b>	<b>( 214 )</b>
§ 10—1 对流给热概述.....	( 214 )
一、给热机理与温度边界层.....	( 214 )
二、牛顿公式与对流给热系数.....	( 215 )
三、边界层对流给热微分方程.....	( 215 )
四、对流给热的求解方法.....	( 216 )
§ 10—2 边界层积分方程组的建立和求解.....	( 216 )
一、边界层动量积分方程.....	( 216 )
二、边界层热量积分方程.....	( 219 )
三、平板上层流边界层积分方程组的解.....	( 220 )
§ 10—3 动量传递与热量传递的类似——类似律解法.....	( 226 )
一、紊流剪应力.....	( 226 )
二、紊流热量传递.....	( 227 )
三、雷诺类似公式.....	( 228 )
四、雷诺类似律的应用.....	( 229 )
五、雷诺类似律公式的修正.....	( 231 )
§ 10—4 相似理论指导下的实验求解法.....	( 233 )
一、现象相似与相似准数.....	( 233 )
二、相似准数的导出与热相似准数.....	( 233 )
三、准数方程.....	( 236 )
四、准数方程的应用.....	( 238 )
五、简化公式.....	( 239 )
§ 10—5 强制对流给热的实验公式.....	( 239 )
一、管内紊流下强制对流给热.....	( 239 )
二、管内层流下强制对流给热.....	( 244 )
三、管内过渡流给热.....	( 245 )
四、流体横向绕流圆管的给热.....	( 245 )
五、流体绕流管束时的给热.....	( 246 )
§ 10—6 自然对流给热.....	( 249 )
§ 10—7 冷凝与沸腾过程给热.....	( 252 )
一、冷凝过程给热的特点.....	( 252 )
二、膜状冷凝给热系数.....	( 252 )

三、影响冷凝给热的一些实际因素	( 256 )
四、沸腾给热过程的特点	( 256 )
五、沸腾给热系数	( 257 )
第十章 思考题与习题	( 258 )
<b>第十一章 辐射传热</b>	( 260 )
§ 11—1 热辐射的基本概念	( 260 )
§ 11—2 黑体、白体和透热体	( 261 )
§ 11—3 黑体辐射的基本定律	( 262 )
一、普朗克定律	( 262 )
二、斯蒂芬-波尔兹曼定律	( 263 )
§ 11—4 灰体及实际物体的辐射与吸收	( 263 )
一、灰体的辐射能力	( 263 )
二、吸收率与辐射率的关系——克希荷夫定律	( 264 )
三、实际物体的辐射能力	( 267 )
四、黑度及其影响因素	( 268 )
§ 11—5 辐射能在空间的分布	( 270 )
一、距离平方定律	( 270 )
二、余弦定律	( 270 )
三、角度系数	( 273 )
§ 11—6 两表面构成封闭体系时的辐射换热	( 275 )
一、两相距很近的平行平面	( 276 )
二、两个任意表面组成封闭体系	( 277 )
三、两表面之间有隔热屏时的辐射换热	( 279 )
* § 11—7 辐射传热与电量传递的类似——电类似解法	( 281 )
§ 11—8 气体的辐射与吸收	( 285 )
一、气体辐射与吸收的特点	( 285 )
二、气体的吸收率	( 286 )
三、气体吸收率与黑度的关系	( 287 )
§ 11—9 气体及火焰的黑度	( 287 )
一、气体的黑度	( 287 )
二、火焰黑度	( 290 )
§ 11—10 气体与围壁间的辐射换热	( 292 )
第十一章 思考题与习题	( 294 )
<b>第十二章 稳定态综合传热</b>	( 296 )
§ 12—1 气体与表面间的换热	( 296 )
§ 12—2 火焰炉内的综合传热	( 297 )
一、火焰对炉料的辐射传热量	( 298 )

二、火焰平均温度与定向传热.....	( 299 )
三、火焰炉炉壁在传热中的作用.....	( 300 )
§ 12—3 通过间壁的传热.....	( 303 )
一、通过平壁的传热.....	( 303 )
二、通过圆筒壁的传热.....	( 304 )
三、圆筒壁传热中的临界直径.....	( 306 )
§ 12—4 换热器传热计算.....	( 308 )
一、换热器内流体流动方案.....	( 308 )
二、换热器平均温压.....	( 309 )
三、传热系数.....	( 313 )
四、流体终温及换热效率.....	( 314 )
五、换热器壁温.....	( 319 )
六、传热过程的强化.....	( 320 )
* § 12—5 散料层内热交换.....	( 322 )
一、料块内部热阻很小时的传热.....	( 323 )
二、炉气与料块间的给热系数.....	( 325 )
三、考虑料块内部热阻时的传热.....	( 326 )
* § 12—6 流化床内热交换.....	( 328 )
一、气体与颗粒表面间的传热.....	( 328 )
二、流化床与周边表面间的传热.....	( 329 )
三、流化床对浸没管的对流给热.....	( 332 )
四、流化床对表面的辐射传热.....	( 333 )
* § 12—7 通过肋片传热.....	( 335 )
第十二章 思考题与习题.....	( 338 )
*第十三章 不稳定态导热.....	( 341 )
§ 13—1 不稳定态导热过程及其求解方法.....	( 341 )
§ 13—2 分析解法及热相似准数.....	( 341 )
§ 13—3 表面温度恒定时半无限厚物体的加热.....	( 343 )
§ 13—4 周围介质温度恒定时的加热与冷却.....	( 346 )
§ 13—5 薄材在恒温介质中的加热与冷却.....	( 350 )
一、关于薄材与厚材的概念.....	( 350 )
二、薄材在恒温介质中对流加热或冷却.....	( 351 )
三、薄材的辐射式加热与冷却.....	( 353 )
§ 13—6 不稳定态导热的数值解法.....	( 355 )
一、不稳定态导热的差分方程.....	( 355 )
二、差分方程的稳定性条件.....	( 357 )
三、对流边界条件下的表面结点方程.....	( 359 )
第十三章 思考题与习题.....	( 361 )

## 第三篇 传质原理

第十四章 传质基本概念与传导传质.....	(365)
§ 14—1 传质的基本概念.....	(365)
一、传质过程的特征.....	(365)
二、混合相中物质浓度的表示方式.....	(366)
三、物质流流速与通量.....	(367)
§ 14—2 菲克第一定律与扩散系数.....	(368)
一、菲克第一定律.....	(368)
二、固体扩散系数.....	(369)
三、液体扩散系数.....	(370)
四、气体扩散系数.....	(372)
五、气体通过多孔介质的扩散.....	(373)
§ 14—3 稳定态扩散传质.....	(376)
一、等分子逆向扩散.....	(376)
二、通过静止介质层(或惰性介质)的扩散.....	(377)
三、气体通过固体层的扩散——气体渗透.....	(379)
*四、气体在固体中的扩散——金属表面氧化.....	(380)
§ 14—4 不稳定态扩散.....	(383)
一、菲克第二定律.....	(383)
二、表面浓度恒定时半无限体中的扩散.....	(383)
第十四章 思考题与习题.....	(385)
第十五章 对流传质.....	(386)
§ 15—1 对流传质机理与传质系数.....	(387)
一、紊流扩散概念.....	(387)
二、界膜传质模型.....	(388)
三、渗透理论与表面更新模型.....	(389)
四、薄膜—渗透理论.....	(391)
§ 15—2 对流传质微分方程与传质相似准数.....	(392)
一、组分守恒方程(传递方程).....	(392)
二、边界传质微分方程.....	(393)
三、传质相似准数.....	(394)
* § 15—3 气体与下降液膜的传质.....	(395)
* § 15—4 流体与平板表面间的对流传质——积分方程法近似解.....	(398)
§ 15—5 若干对流传质的实验公式.....	(400)
一、流体与单个球形颗粒之间的传质.....	(400)
二、流体通过固定床.....	(401)

三、流化床内流体与颗粒表面间传质.....	( 401 )
§ 15—6 对流传质与对流传热的类似.....	( 401 )
第十五章 思考题与习题.....	( 407 )
<b>第十六章 综合传质问题.....</b>	<b>( 408 )</b>
§ 16—1 相际平衡与平衡浓度.....	( 408 )
§ 16—2 双膜传质理论与贯通传质系数.....	( 409 )
一、通过相界面传质的特点与双膜模型.....	( 409 )
二、通过相界面的传质速率与贯通传质系数.....	( 410 )
§ 16—3 相界面有化学反应时的传质——炭粒燃烧过程.....	( 412 )
一、反应—传质速率.....	( 412 )
二、燃烧时间.....	( 413 )
* § 16—4 多孔介质内部的扩散与化学反应.....	( 416 )
§ 16—5 传热与传质同时发生的综合传递过程.....	( 418 )
一、界面附近的温度分布与热量平衡.....	( 418 )
二、湿球温度与湿球系数.....	( 419 )
三、干燥速率与干燥时间.....	( 424 )
第十六章 思考题与习题.....	( 428 )

## 附    录

I. 基本常数与单位换算.....	( 431 )
附表 I—1 常用基本物理常数.....	( 431 )
附表 I—2 单位换算表.....	( 431 )
II. 流体的物性参数.....	( 433 )
附表 II—1 干空气的物性参数.....	( 433 )
附表 II—2 几种气体的物性参数.....	( 434 )
附表 II—3 烟物性参数.....	( 435 )
附表 II—4 总压为 1 [巴] 时含饱和水汽的有关的参数.....	( 435 )
附表 II—5 水的物性参数.....	( 436 )
附表 II—6 饱和水蒸汽表.....	( 437 )
III. 局部阻力系数.....	( 438 )
IV. 离心式泵和风机规格示例.....	( 442 )
附表 IV—1 B 型水泵性能.....	( 442 )
附表 IV—2 中、低压 4-72-11 型离心通风机性能选例.....	( 443 )
附表 IV—3 常用风机性能范围及用途.....	( 444 )
附表 IV—4 常用泵性能范围与用途.....	( 445 )
V. 误差函数表.....	( 446 )

注：有\*号的章节可自由选择而不影响后续内容的学习。

# CONTENTS

Chapter	Page
Introduction .....	( 1 )

## Part One Fundamentals of Fluid Mechanics and Momentum Transfer

<b>Chap.1</b>	<b>Principal Behavior of Fluids and the Equation for Static Balance .....</b>	<b>( 9 )</b>
1 - 1	Dispersivity and Continuum Model of Fluids.....	( 9 )
1 - 2	Compressibility and Non-compressible Model of Fluids.....	( 10 )
1 - 3	Viscosity of Fluids and Ideal Fluid Model .....	( 12 )
1 - 4	Newtonian Fluids and Non-newtonian Fluids .....	( 15 )
1 - 5	Pressure in Fluid .....	( 16 )
1 - 6	The Equation for Static Balance.....	( 19 )
1 - 7	The Potential Head and Static Head of Gases.....	( 22 )
	Problems in Chap.1 .....	( 25 )
<b>Chap.2</b>	<b>The Basic Equations for Fluid Flow .....</b>	<b>( 28 )</b>
2 - 1	Introduction .....	( 28 )
2 - 2	Two Types of Fluid Flow .....	( 29 )
2 - 3	The Boundary Layer .....	( 31 )
2 - 4	Velocity Distribution of a Fluid Flow in a Circular Tube.....	( 34 )
2 - 5	Mass Balance in Fluid Flow—The Continuity Equation .....	( 38 )
2 - 6	The Momentum Transfer Equations for Ideal Fluids—The Euler Equations .....	( 40 )
2 - 7	The Momentum Transfer Equations for Viscous Fluids—Navier-Stokes Equations .....	( 42 )
2 - 8	Mechanical Energy Balance of Fluids — The Bernoulli's Equation.....	( 47 )
2 - 9	The Over-all Energy Balance of Fluids .....	( 52 )
2 - 10	Examples on Using Energy Equation .....	( 54 )
2 - 11	Momentum Balance for Fluid Flow in Steady State — The Momentum Equation .....	( 61 )
	Problems in Chap.2 .....	( 65 )



<b>Chap.3</b>	<b>Flow Resistances and Calculations for Pipeline Systems</b> .....	( 70 )
3 - 1	Introduction.....	( 70 )
3 - 2	The Pressure Loss From Skin Friction in Pipes with Laminar Flow and Darcy's Equation .....	( 70 )
3 - 3	The Pressure Loss From Skin Friction in Pipes with Turbulent Flow .....	( 73 )
3 - 4	The Pressure Loss From Skin Friction in Non-circular Ducts .....	( 78 )
3 - 5	The Pressure Loss From Form-resistances in Pipe.....	( 80 )
3 - 6	Examples for Calculation Pipelines with Flow in Steady State .....	( 85 )
	Problems in Chap.3 .....	( 94 )
<b>Chap.4</b>	<b>Flow of Compressible Fluids</b> .....	( 97 )
4 - 1	Pressure Wave, Velocity of Sound and Compressibility of Fluids .....	( 97 )
4 - 2	Energy Equation of Compressible Gases .....	( 98 )
4 - 3	Continuity Equation for Flow of Compressible Gases.....	( 100 )
4 - 4	Changes of the Parameters of Flowing Compressible Gases.....	( 102 )
4 - 5	Flowing of Compressible Gases Through a Nozzle or a Laval Nozzle.....	( 105 )
4 - 6	Isothermal Flow of a Compressible Gas.....	( 110 )
	Problems in Chap.4 .....	( 113 )
<b>Chap.5</b>	<b>Jet Stream of Gases</b> .....	( 114 )
5 - 1	Behavior of the Isothermal Jet Stream in a Large Space.....	( 114 )
5 - 2	Heat and Mass Transfer in a Jet Stream—Jet Stream With a Temperature and Concentration Gradient .....	( 120 )
5 - 3	Effects Between Two Jet Streams.....	( 123 )
5 - 4	Jet Stream Near by a Plane Plate.....	( 124 )
	Problems in Chap.5.....	( 126 )
<b>Chap.6</b>	<b>Two Phase Flow (Fluid-solid)</b> .....	( 127 )
6 - 1	Introduction .....	( 127 )
6 - 2	Geometrical Characteristics of Solid Particles .....	( 127 )
6 - 3	Fluid Flow Through Fixed Bed (Filter Bed).....	( 131 )
6 - 4	Fluidized Bed (Fluidization) .....	( 136 )
6 - 5	Particle Carrying Flow.....	( 148 )
	Problems in Chap.6 .....	( 158 )
<b>Chap.7</b>	<b>Pumping Equipment for Fluids</b> .....	( 160 )
7 - 1	Introduction .....	( 160 )