

流体力学大全



北京航空航天大学出版社

流体力学大全

张远君 校编

王 平 韩振兴 朱墨娴 周元钧 等译

北京航空航天大学出版社

内 容 简 介

本书全面精练地阐述了经典的、近代的、现代的流体力学各分科的基础理论、基本概念、主要计算公式以及实用技术和数据等,是流体力学方面的一本基础性和综合性的工具书。书中几乎囊括了流体力学各分科——非粘性流体力学、粘性流体力学、气体动力学、非牛顿流体力学、多相流体力学、化学流体力学、稀薄流体力学、电磁流体力学、地球流体力学、生物流体力学、计算流体力学、实验流体力学、渗流力学、湍流、环境与流动、流动与换热、流动与声、旋转流体、密度成层流体等的主要内容。此外,还讨论了流体物理性质的基本概念并列出了一些常用液体和气体的物理性质的数据。附录中列出了主要数学公式、物理常数、无量纲参数以及单位换算表等。

本书可供流体力学、水利、机械、航空航天、冶金、化工、建筑、农林、生物、医学、气象、环保、海洋、船舶、热能、石油、兵器以及轻工等专业技术人员,大专院校师生使用和参考。

流 体 力 学 大 全

LIUTI LIXUE DA QUAN

张远君 校编

王 平 韩振兴 朱墨娴 周元钧 等译

责任编辑 陶金福

北京航空航天大学出版社出版

新华书店总店科技发行所发行 各地新华书店经销

通县觅子店印刷厂印装

•

787×1092 1/16 印张: 51.25 字数: 1312千字

1991年5月第一版 1992年5月第二次印刷 印数: 3000册

ISBN 7-81012-203-7/TB·035 定价: 45元

前 言

流体在自然界中普遍存在着，流体是人类的永久伴侣，因而流体力学在人类的科技生产和日常生活中有着广泛的用途。尤其是在科学技术蓬勃发展的今天，流体力学与许多学科的相互渗透，相得益彰，给这门古老的学科不断注以新鲜血液，使它更富有青春活力。如今，流体力学既是一门具有基础理论性质的学科，又是一门具有技术应用性质的学科。它是流体工程、机械、热能、航空航天、兵器、化工、冶金、水利、建筑、石油、采矿、农林、轻工、纺织、生物工程、气象、海洋、环保等专业领域的重要理论基础之一。这门学科在我国社会主义四个现代化建设中有着重要作用。

为了适应现代科学技术和生产的发展，在我国很需要一本流体力学方面的基础性和综合性的工具书。在分支纷繁，资料浩如烟海的这一门学科中，尽可能把各分科的基础理论、基本概念、主要计算公式以及实用技术和数据，用简捷方式编写成这本《流体力学大全》，是有实用价值的。本书可使读者高屋建瓴的了解流体力学的总体知识；有助于读者掌握各分科的主要内容；了解其发展现状和趋势；便于读者处理和解决实际问题，并为深入研究某一专题找到进一步攻读的钥匙。

本书共分二十八章，几乎囊括了经典的和现代的流体力学各分科（非粘性流体力学、粘性流体力学、流体力学基本方程组、气体动力学、非牛顿流体力学、多相流体力学、化学流体力学、稀薄流体力学、电磁流体力学、地球流体力学、生物流体力学、计算流体力学、渗流力学、湍流、流动的稳定性、水面波、明渠流动、密度成层流、流体振动、流体机械内的流动、环境与流动、流动与声、流动与换热以及流体力学中的实验方法等）的主要内容。

这本《流体力学大全》主要取材于日本最近出版的由日本流体力学学会组编的《流体力学ハンドブック》，在编写过程中参阅了美国 V.L. Streeter 主编的《Handbook of Fluid Dynamics》、苏联 В.А. Большаков 主编的《Справочник по Гидравлике》等有关书籍。力求作到内容完备而新颖，论述精辟而简练。我们相信它将起到预期的作用。

本书由张远君主持编译和校审，参加翻译的人员有：王平、韩振兴、朱墨娟、周元钧、张煜强、奚红宇、王世宇、郭莉莉、王红丽、周国明、张潮、高进、王秀荣、张凯、陈一如、王洪斌、李力、朱斌、王钰凯、王世航等。

本书涉及范围广泛，有些内容很新，编译者水平有限，书中有欠妥和不足之处，欢迎读者批评指正。

编译者 1990年8月

目 录

0. 流体性质	
0.1 真实流体和理想流体	(1)
0.2 流体的密度	(1)
0.3 流体的压缩性和膨胀性	(6)
0.3.1 流体的压缩性	(6)
0.3.2 流体的膨胀性	(6)
0.4 流体的粘性	(7)
0.4.1 牛顿内摩擦定律	(7)
0.4.2 流体的粘性系数	(8)
0.4.3 气体的粘性系数	(8)
0.4.4 液体的粘性系数	(9)
0.5 液体的表面张力和毛细现象	(10)
0.5.1 液体的表面张力	(10)
0.5.2 液体的毛细现象	(11)
0.6 流体的热传导性	(12)
0.6.1 气体的热传导系数	(12)
0.6.2 液体的热传导系数	(14)
参考文献	(14)
1. 流体力学基本方程组	
1.1 流场描述	(15)
1.1.1 流体运动的描述	(15)
1.1.2 流体粒子的相对运动	(16)
1.1.3 高斯定理和斯托克斯定理	(16)
1.1.4 源, 涡度, 环量, 流线, 涡线	(17)
1.1.5 应力和热流 (牛顿流体)	(19)
1.2 守恒方程	(21)
1.2.1 守恒定律	(21)
1.2.2 质量守恒	(21)
1.2.3 不可压流	(22)
1.2.4 动量守恒	(23)
1.2.5 能量守恒	(24)
1.3 流体运动方程	(25)
1.3.1 完全流体运动方程	(25)
1.3.2 粘性流体运动方程	(27)
1.3.3 热传导及扩散方程	(30)
1.4 边界条件, 相似律及不可压场条件	(31)

1.4.1 非粘性流体的边界条件	(31)
1.4.2 粘性流体的边界条件	(32)
1.4.3 相似律	(32)
1.4.4 不可压场的条件	(33)
1.5 曲线坐标系中的方程	(35)
1.5.1 正交曲线坐标系	(35)
1.5.2 平面极坐标 (r, θ)	(38)
1.5.3 圆柱坐标 (x, σ, φ)	(38)
1.5.4 球坐标 (r, θ, φ)	(39)
1.6 热力学关系式	(41)
1.6.1 热力学基本定律	(41)
1.6.2 热力学函数及基本参数	(42)
1.6.3 完全气体	(43)
参考文献	(45)
2. 非粘性流体力学	
2.1 欧拉方程及其积分	(46)
2.1.1 无旋流的伯努利定理	(46)
2.1.2 定常流的伯努利定理	(46)
2.1.3 不可压流的伯努利定理	(47)
2.1.4 非粘性流体的边界条件	(47)
2.2 伯努利定理的应用	(48)
2.2.1 托里拆利定理	(48)
2.2.2 文特利管	(48)
2.2.3 皮托管	(49)
2.2.4 U形管内的流体振动	(49)
2.2.5 重力波的传播速度	(49)
2.3 三维不可压无旋流	(50)
2.3.1 流动势	(50)
2.3.2 镜像定理	(50)
2.3.3 均匀流动, 源, 汇	(51)
2.3.4 绕球的流动	(52)
2.3.5 缩流	(53)
2.3.6 绕细长轴对称物体的流动	(53)
2.4 二维不可压无旋流	(54)
2.4.1 复速度势	(54)
2.4.2 等角图像变换	(54)
2.4.3 二维流动的镜像定理	(55)
2.4.4 均匀流动和绕拐角的流动	(56)
2.4.5 源与点涡	(56)
2.4.6 绕圆柱的流动	(57)
2.4.7 绕椭圆柱及平板的均匀流动	(58)
2.5 作用于物体上的力和力矩	(58)

2.5.1 布拉修斯公式	(58)
2.5.2 应用举例	(59)
2.5.3 作用于奇异点上的力和薄翼理论	(60)
2.5.4 假想质量	(61)
2.6 集中涡度分布	(62)
2.6.1 点涡和兰金涡	(62)
2.6.2 点涡街及司图尔特涡街	(62)
2.6.3 二维涡对	(63)
2.6.4 希尔球形涡	(63)
2.6.5 基尔希霍夫死水域	(63)
2.7 涡的运动	(64)
2.7.1 毕奥特-萨瓦特定理	(64)
2.7.2 二维涡层的不稳定及上卷	(65)
2.7.3 涡度域轮廓的运动	(65)
2.7.4 点涡系的二维运动	(66)
2.7.5 涡丝的三维运动	(68)
2.8 可压流体	(69)
2.8.1 可压流的伯努利定理	(69)
2.8.2 伯努利定理的应用	(69)
2.8.3 克罗克定理	(70)
参考文献	(71)
3. 粘性流体力学	
3.1 纳维-斯托克斯方程的精确解	(72)
3.1.1 一个方向的流动	(72)
3.1.2 轴对称流动	(76)
3.1.3 非平行流动	(77)
3.1.4 涡运动	(78)
3.1.5 伴有汇的流动	(80)
3.2 边界层方程的精确解和近似解	(81)
3.2.1 边界层方程	(81)
3.2.2 有益的变换公式	(82)
3.2.3 二维定常流动	(83)
3.2.4 三维定常流动	(85)
3.2.5 非定常流动	(86)
3.2.6 具有特殊边界条件的流动	(88)
3.2.7 分离流的构造	(89)
3.3 奇异域的流动及高次近似解	(90)
3.3.1 奇异域的解	(90)
3.3.2 高次近似解	(91)
3.4 涡运动的观察	(92)
3.4.1 二维固体表面上的分离涡	(92)
3.4.2 球的尾流	(93)

3.4.3 混合层中的涡街	(93)
3.4.4 边界层中产生的涡	(93)
3.4.5 射流中产生的涡	(94)
3.4.6 涡丝的断接	(94)
3.5 斯托克斯近似	(94)
3.5.1 定常及非定常斯托克斯方程	(94)
3.5.2 斯托克斯方程的一般解	(95)
3.5.3 斯托克斯方程的基本解	(96)
3.5.4 力和力矩 (扭矩)	(98)
3.5.5 相反定理	(98)
3.5.6 势流与斯托克斯流的关系	(99)
3.6 斯托克斯方程的特解	(99)
3.6.1 通道及管内流动	(99)
3.6.2 单一物体的并进及旋转	(102)
3.6.3 物体间的相互作用	(103)
3.6.4 物体与壁的相互作用	(107)
3.6.5 粘性涡街与分离流	(110)
3.6.6 液滴, 气泡	(112)
3.7 非定常斯托克斯方程	(113)
3.8 奥森近似	(115)
3.8.1 奥森方程	(115)
3.8.2 奥森方程的一般解	(115)
3.8.3 奥森源, 二重奥森源	(117)
3.8.4 力与力矩	(118)
3.9 奥森方程的特解	(118)
3.9.1 绕球的均匀流动	(118)
3.9.2 绕圆柱的均匀流动	(119)
3.10 纳维-斯托克斯方程的 $O(R)$ 阶近似	(119)
3.11 粒子的运动	(119)
3.11.1 流体与粒子的轨迹	(119)
3.11.2 管内粒子的横向运动	(120)
3.12 薄层的非平行流动	(120)
3.12.1 二平板间的流动	(120)
3.12.2 厚度变化的薄层流动	(120)
3.12.3 涂刷时伴有的流动	(121)
参考文献	(122)
4. 流动的稳定性理论	
4.1 基本方程	(130)
4.1.1 流动稳定性定义	(130)
4.1.2 流动稳定性基本方程	(131)
4.2 线性稳定性理论	(132)

4.2.1 线性稳定性基本方程	(132)
4.2.2 奥尔-索姆费尔德方程的特征值问题的解法	(137)
4.3 弱非线性稳定性理论	(140)
4.3.1 弱非线性稳定性理论所处的地位	(140)
4.3.2 单波型理论	(140)
4.3.3 边频带的影响	(142)
4.3.4 有两种以上波型存在时的理论	(143)
4.3.5 直接共振	(144)
4.4 非线性稳定性理论	(144)
4.4.1 平衡振幅傅里叶众数截止法	(144)
4.4.2 数值模拟	(145)
4.5 有代表性流动的稳定性理论	(145)
4.5.1 二维库埃特流	(145)
4.5.2 平面泊肖叶流	(146)
4.5.3 平板边界层流	(148)
4.5.4 自由边界层流	(149)
4.5.5 二维射流	(151)
4.5.6 二维尾流	(152)
4.5.7 哈根-泊肖叶流	(153)
4.5.8 同心旋转圆筒之间的库埃特流	(154)
参考文献	(157)
5. 湍 流	
5.1 基本方程	(161)
5.1.1 平均运算方法	(161)
5.1.2 描述流体运动的方程	(161)
5.1.3 雷诺应力	(162)
5.1.4 方程的终结	(163)
5.2 均匀湍流	(163)
5.2.1 速度场的傅里叶变换	(163)
5.2.2 速度相关和能量谱	(164)
5.2.3 相关函数方程	(165)
5.2.4 相似律	(166)
5.2.5 浑沌和分叉	(168)
5.3 剪切湍流	(169)
5.3.1 边界层(壁面)湍流	(169)
5.3.2 管流	(172)
5.3.3 自由湍流	(173)
5.4 湍流中的组织结构	(175)
5.4.1 湍流边界层中有组织的结构	(175)
5.4.2 自由湍流剪切流中的有组织结构	(177)
5.5 湍流模型	(178)

5.5.1 0 方程模型 (混合长度模型).....	(179)
5.5.2 1 方程模型	(180)
5.5.3 2 方程模型	(180)
5.5.4 雷诺应力方程模型	(182)
5.5.5 大涡模拟	(184)
5.6 湍流扩散	(186)
5.6.1 扩散方程	(186)
5.6.2 固定源型扩散	(187)
5.6.3 相对扩散 (浮游源型扩散).....	(188)
5.6.4 湍流扩散造成的浓度脉动	(189)
5.6.5 剪切流中的湍流扩散	(191)
5.6.6 从瞬间点源发出的局部扩散	(193)
参考文献	(195)
6. 管中流动	
6.1 等截面管道中的流动	(200)
6.1.1 圆管中的流动和损失	(200)
6.1.2 圆管中的层流	(201)
6.1.3 圆管中的湍流	(201)
6.1.4 非圆形截面直管中的流动及摩擦阻力	(203)
6.1.5 压缩性的影响	(204)
6.2 非等截面管道中的流动	(205)
6.2.1 流动的分离和压强梯度	(205)
6.2.2 喷嘴流	(206)
6.2.3 扩压器中的流动	(206)
6.2.4 截面积急剧变化的管道中的流动	(208)
6.3 受外力作用的等截面管道中的流动	(210)
6.3.1 弯曲管道中的流动	(210)
6.3.2 旋转体内的流动	(211)
6.3.3 有浮力的流动	(212)
6.3.4 磁场下的流动	(212)
6.4 各种管道元件和阀的阻力	(212)
6.4.1 阀	(212)
6.4.2 弯头	(215)
6.4.3 分流与合流	(216)
6.4.4 管道进口-出口部分	(216)
6.4.5 迷宫式流道	(217)
6.4.6 管群	(218)
6.4.7 管道网	(218)
参考文献	(221)
7. 物体阻力	
7.1 粘性阻力	(223)
7.1.1 低雷诺数流动	(223)

7.1.2 层流边界层	(223)
7.1.3 湍流边界层	(224)
7.1.4 球形液滴及气泡的阻力	(225)
7.2 压力阻力	(226)
7.2.1 分离的形态和形状阻力	(226)
7.2.2 二维物体的阻力	(227)
7.2.3 三维物体的阻力	(229)
7.2.4 伴有分离的液滴及气泡的阻力	(229)
7.3 相互作用的物体	(230)
7.3.1 平板上凸起物的阻力	(230)
7.3.2 流道壁的约束效果	(232)
7.3.3 成对物体的干涉	(232)
7.4 伴有表面波的物体阻力	(235)
7.4.1 行进浮体的阻力组成	(235)
7.4.2 线性兴波和非线性兴波	(235)
7.4.3 兴波阻力的理论分析	(236)
7.4.4 兴波阻力的数值解析	(236)
7.5 压缩性影响	(237)
7.5.1 亚声速流	(237)
7.5.2 跨声速流	(237)
7.5.3 超声速流	(238)
7.5.4 高超声速流	(239)
7.6 诱导阻力	(239)
7.6.1 诱导速度和诱导阻力	(239)
7.6.2 诱导阻力的减小法	(241)
参考文献	(243)
8. 明渠流动	
8.1 明渠流动的能量和动量	(245)
8.1.1 常流及射流, 弗劳德数	(245)
8.1.2 比能和比压	(246)
8.1.3 临界水深和交换水深	(246)
8.2 明渠的急变流	(247)
8.2.1 基本方程	(247)
8.2.2 水跃及共轭水深	(247)
8.2.3 升台阶流动及落台阶流动	(248)
8.2.4 阶梯波	(248)
8.3 明渠的渐变流	(249)
8.3.1 基本方程	(249)
8.3.2 等流公式和等流水深	(250)
8.3.3 水面形状的分类	(251)
8.3.4 控制截面	(253)

8.3.5 奇异点解析法	(253)
8.4 明渠的非定常流	(254)
8.4.1 基本方程	(254)
8.4.2 洪水解析	(254)
8.5 明渠流动的湍流结构	(256)
8.5.1 湍流流场的区域划分	(256)
8.5.2 平均流速分布	(257)
8.5.3 湍流特性分布	(258)
8.6 变迁河床的流动	(259)
8.6.1 明渠的土砂输送	(259)
8.6.2 河床形态	(261)
8.6.3 蛇形河道和网状河道	(263)
参考文献	(264)
9. 水面波	
9.1 基本方程	(267)
9.2 小振幅波	(268)
9.2.1 水面波形, 水粒子速度和压强	(268)
9.2.2 波长, 波速	(268)
9.2.3 能量, 质量传递, 动量传递和能量传递	(268)
9.2.4 重叠波	(269)
9.2.5 均匀倾度斜面上的波	(270)
9.3 有限振幅波	(270)
9.3.1 波速的定义	(270)
9.3.2 斯托克斯波	(270)
9.3.3 椭圆函数波, 孤立波	(271)
9.3.4 流函数法和速度势法	(272)
9.3.5 有限振幅波理论的适用界限	(273)
9.4 孤立子	(273)
9.4.1 孤立子定义	(273)
9.4.2 KdV 方程的孤立子	(274)
9.4.3 各种孤立子方程	(276)
9.4.4 精确解法	(277)
9.5 不规则波	(278)
9.5.1 不规则波的谱表示	(278)
9.5.2 不规则波的统计性质	(278)
9.6 波的变形	(279)
9.6.1 浅水变形和碎波	(279)
9.6.2 折射和绕射	(280)
9.7 近岸流	(281)
9.7.1 波平均量的方程	(281)
9.7.2 平均水位变化	(282)
9.7.3 岸边流	(283)

9.8 波力	(283)
9.8.1 作用于直立壁的波力	(283)
9.8.2 作用水中及水面结构物上的波力	(285)
参考文献	(287)
10. 渗流力学	
10.1 基本方程	(292)
10.1.1 连续方程	(292)
10.1.2 运动方程	(292)
10.1.3 温度变化公式	(293)
10.1.4 浓度变化公式	(295)
10.2 地下水的流动	(296)
10.2.1 地下水的分类	(296)
10.2.2 饱和渗流	(296)
10.2.3 不饱和渗流	(297)
10.2.4 地下水流	(298)
10.2.5 地下密度流	(300)
10.3 化学装置内的流动	(301)
10.3.1 充填层 (固定层, 移动层)	(302)
10.3.2 流动层	(304)
10.3.3 喷流和喷流层	(308)
参考文献	(309)
11. 气体动力学	
11.1 基本方程和一般定理	(312)
11.1.1 等熵流动	(312)
11.1.2 速矢端迹	(312)
11.2 相似律	(313)
11.2.1 普朗特-葛劳渥相似律	(313)
11.2.2 冯·卡门的跨声速相似律	(313)
11.2.3 后掠机翼独立性原理	(314)
11.2.4 锥形流	(315)
11.2.5 高超声速相似律	(315)
11.2.6 浅水波	(316)
11.3 亚声速流	(316)
11.3.1 边界层流动	(317)
11.3.2 线性机翼理论	(317)
11.3.3 M^2 展开法	(317)
11.4 跨声速流	(318)
11.4.1 超临界机翼	(318)
11.4.2 面积律	(319)
11.5 超声速流	(320)
11.5.1 正激波	(320)

11.5.2 斜激波	(321)
11.5.3 激波的反射	(323)
11.5.4 激波的相互干扰	(323)
11.5.5 特征曲线	(323)
11.5.6 细长物体理论	(324)
11.5.7 脱体激波	(325)
11.5.8 膨胀波	(325)
11.5.9 线性机翼理论	(325)
11.5.10 喷流	(326)
11.6 高超声速流动	(326)
11.6.1 牛顿近似	(326)
11.6.2 布塞曼近似	(327)
11.6.3 激波层	(328)
11.6.4 盖烈特翼——内凹多角形剖面翼	(328)
11.6.5 计算流体力学的最新成果	(328)
11.7 活塞问题	(329)
11.7.1 活塞问题	(329)
11.7.2 黎曼问题	(330)
11.7.3 激波管	(331)
11.8 爆燃波	(331)
11.8.1 燃烧波	(331)
11.8.2 爆炸波	(332)
参考文献	(333)
12. 流动与声	
12.1 声波(线性理论)	(336)
12.1.1 波动方程	(336)
12.1.2 声波的能量和动量	(336)
12.1.3 平面波, 圆柱面波和球面波	(337)
12.1.4 泊松公式	(338)
12.1.5 亥姆霍兹方程及其解	(338)
12.1.6 延迟势	(338)
12.1.7 格林函数	(339)
12.2 气动力声	(339)
12.2.1 莱特希尔方程	(339)
12.2.2 里布诺方程	(340)
12.2.3 豪方程	(340)
12.2.4 互反定理	(340)
12.2.5 利利方程	(341)
12.2.6 矢量格林函数	(341)
12.3 声的发射(单极子、多极子的发射)	(342)
12.3.1 单极子声	(342)
12.3.2 偶极子声	(342)

12.3.3 四极子声、多极子声	(342)
12.4 涡声	(343)
12.4.1 匹配渐近展开法	(343)
12.4.2 涡对发出的声	(344)
12.4.3 共轴涡环发出的声	(344)
12.5 声的传播 (声线方程)	(345)
12.6 声的散射和吸收	(345)
12.6.1 粒子产生的散射	(346)
12.6.2 场不均匀性造成的散射	(346)
12.6.3 涡产生的散射	(346)
12.6.4 密度脉动产生的散射	(347)
12.6.5 声的吸收	(347)
12.7 湍流噪声	(347)
12.7.1 莱特希尔方程的解	(347)
12.7.2 声的平均强度	(349)
12.7.3 功率谱	(349)
12.7.4 喷流的噪声	(350)
12.8 物体效应	(350)
12.8.1 风吹声	(351)
12.8.2 尖头效应	(351)
12.8.3 涡-圆柱效应	(352)
12.8.4 涡-平面壁效应	(352)
12.9 旋翼和叶栅的噪声	(352)
12.9.1 移动声源产生的声场	(352)
12.9.2 螺旋桨与直升机旋翼的噪声	(353)
12.9.3 气流脉动造成的桨叶非定常气动力	(353)
12.9.4 涡轮的旋转声	(354)
12.9.5 旋翼产生的宽带频率声	(355)
参考文献	(357)
13. 离解, 电离与化学流体力学	
13.1 有化学反应的流动方程	(359)
13.1.1 质量守恒定律	(359)
13.1.2 动量守恒方程	(360)
13.1.3 能量守恒方程	(361)
13.1.4 其他关系式	(362)
13.2 振动和离解气体	(362)
13.2.1 分子的振动激发	(362)
13.2.2 振动松弛和气动激光	(362)
13.2.3 分子离解和理想离解气体	(364)
13.2.4 离解气体的处理	(365)
13.3 电离气体	(366)
13.3.1 电子激发和电离	(366)

13.3.2 电离平衡——萨哈公式	(367)
13.3.3 激发和去激速度与电离和复合速度	(368)
13.3.4 电离气体的守恒方程	(369)
13.3.5 弱电离气体的近似	(370)
13.3.6 等离子体流在工程上的应用	(371)
13.4 化学反应流	(371)
13.4.1 高温反应流处理方法	(371)
13.4.2 基本反应	(372)
13.4.3 反应流的模拟模型	(373)
13.5 高温下的物性	(373)
13.5.1 热力学的各量	(373)
13.5.2 输运系数	(374)
13.6 辐射传热	(374)
13.6.1 热辐射	(374)
13.6.2 包括辐射传热的流体力学方程	(375)
13.7 导热的热流密度的估算	(376)
参考文献	(378)
14. 稀薄气体动力学 (分子气体动力学)	
14.1 前言	(379)
14.2 玻耳兹曼方程	(379)
14.2.1 速度分布函数	(379)
14.2.2 玻耳兹曼方程	(380)
14.2.3 守恒方程	(380)
14.2.4 麦克斯韦分布 (平衡分布)	(381)
14.2.5 平均自由程	(381)
14.2.6 边界条件	(381)
14.2.7 模型方程	(382)
14.2.8 无量纲变量和玻耳兹曼方程	(382)
14.2.9 线性化玻耳兹曼方程	(383)
14.2.10 向边界传输的动量和能量	(384)
14.3 稀薄度高的情况——自由分子气体	(384)
14.3.1 自由分子流的一般解	(384)
14.3.2 初值问题	(384)
14.3.3 边界值问题	(385)
14.3.4 边界温度效应	(386)
14.4 稀薄度低的情况——渐近理论	(388)
14.4.1 线性理论	(388)
14.4.2 弱非线性理论	(394)
14.4.3 伴有蒸发、凝结的微系	(397)
14.5 稀薄气体特有的流动	(399)
14.5.1 温度场引起的流动	(399)
14.5.2 蒸发-凝结所产生的流动和逆温度梯度	(400)

14.6 作用在物体上的各种力	(401)
14.6.1 阻力	(401)
14.6.2 热致迁动	(402)
14.6.3 光致迁动	(404)
14.6.4 高度稀薄气体中的加热物体的作用力	(405)
14.7 中等稀薄度的微系的解析	(407)
参考文献	(408)
15. 电磁流体力学	
15.1 基本方程	(412)
15.1.1 欧姆定律	(412)
15.1.2 电磁场公式	(413)
15.1.3 流体力学公式	(414)
15.1.4 电磁场的边界条件	(415)
15.1.5 MHD近似和EHD近似	(415)
15.1.6 无量纲参数和单位	(416)
15.2 小振幅波	(417)
15.2.1 分散关系式	(417)
15.2.2 磁声波, 阿尔芬波, 熵波	(418)
15.2.3 点源波	(419)
15.2.4 驻波	(420)
15.3 大振幅波	(421)
15.3.1 不连续面, 激波	(421)
15.3.2 内部构造	(423)
15.4 前方伴流, 涡迹	(424)
15.4.1 前方伴流	(424)
15.4.2 涡迹	(425)
15.5 边界层流动	(425)
15.5.1 交轴磁场流动的边界层	(425)
15.5.2 平行磁场流动的边界层	(426)
15.5.3 平行磁场流动中薄板上的边界层	(427)
15.6 通道流动	(427)
15.6.1 平行平板的流动	(427)
15.6.2 矩形截面通道	(429)
15.6.3 直线型通道	(430)
15.6.4 盘型通道	(432)
15.7 物体受力	(433)
15.7.1 物体受力的求法	(433)
15.7.2 物体受力算例	(434)
15.8 流动稳定性	(435)
15.8.1 容器内的对流	(435)
15.8.2 通道流动	(437)