

[美] W. H. 多 兰 斯 著

高超音速粘流



國防工業出版社

52.82
230

高超音速粘流

[美] W. H. 多兰斯 著

張仲寅 譯

21552/109



國防工業出版社

319.616

內 容 簡 介

本书主要是介紹处理有反应气体混合物的层流和紊流附面层理論，同时提供了計算有反应气体附面层与有反应、熔解、升华和依其它方式分解的表面之間的傳热公式。书中所介紹的理論是从基本原理发展出来的，同时本书还对有关的化学、热力学和物理学的概念，計算稀薄气体混合物的輸运性质及热力学性质的基本理論和方法，以及热化学中有用的某些概念等都作了詳細介紹。

本书可作为高等院校高年級学生或研究生的近代附面层理論課程的教学参考书，也可作为附面层理論研究工作者以及有关工程技术人員的一本有用的参考书。

VISCOUS HYPERSONIC FLOW

[美] William H. Dorrance

McGRAW-HILL BOOK COMPANY, INC. 1962

高 超 音 速 粘 流

張 仲 寅 譯

國防工業出版社 出版

北京市书刊出版业营业許可証出字第 074 号

新华书店北京发行所发行 各地新华书店經售

国防工业出版社印刷厂印裝

850×1168 $\frac{1}{32}$ 印張 $10\frac{3}{4}$ 275 千字

1966 年 4 月第一版 1966 年 4 月第一次印刷 印数：0,001—1,150册

統一书号：15034·1087 定价：(科六) 1.60 元

目 录

本书采用的符号	6
第一章 高超音速傳热問題引論	17
1-1 概述	17
1-2 高超音速加热問題	17
1-3 傳热对高超音速飞行器設計的影响	22
1-4 本书討論范围	24
第二章 附面层方程	25
2-1 引言	25
2-2 气体动力学方程組	25
2-3 附面层方程	37
2-4 把附面层方程化成常微分方程	42
2-5 附面层方程的某些特殊积分	48
2-6 无因次輸运参数	51
2-7 結束語	55
第三章 表面材料和附面层的相互作用	56
3-1 引言	56
3-2 热化学的一些概念	57
3-3 对有反应附面层傳热的各种影响	61
3-4 熔解表面层	66
3-5 傳质影响	73
3-6 固体状态中的热傳导	79
3-7 結束語	84
第四章 离解层流附面层	86
4-1 引言	86
4-2 附面层方程	87
4-3 理想离解气体的附面层方程	89
4-4 离解的影响：反应傳导系数	91

4-5	冻结附面层近似法	96
4-6	驻点解	103
4-7	表面复合的影响	116
4-8	压力梯度和曲率的影响	113
4-9	結束語	119
第五章 层流附面层内的傳质和化学反应		120
5-1	引言	120
5-2	附面层方程的适用性	121
5-3	冻结附面层近似法	123
5-4	附面层傳热	124
5-5	对固体表面的傳热	131
5-6	扩散为主的表面反应	133
5-7	算例	136
5-8	动力学为主的表面反应	146
5-9	气相反应动力学	148
5-10	参考溫度	153
5-11	恢复因子	159
5-12	結束語	163
第六章 前緣鈍度、激波干扰和渦量的影响		164
6-1	引言	164
6-2	前緣激波和附面层的干扰	164
6-3	前緣鈍度的影响	180
6-4	渦量对层流附面层的影响	183
6-5	結束語	190
第七章 离解紊流附面层		193
7-1	引言	193
7-2	有反应的紊流附面层方程	196
7-3	离解紊流附面层方程	203
7-4	C_H 和 C_f 間的关系	205
7-5	紊流表面摩擦系数	210
7-6	表面摩擦系数的計算	216
7-7	結束語	226

第八章 紊流附面层内的傳质和化学反应	227
8-1 引言	227
8-2 傳质对 $2C_H/C_f$ 和 r 的影响	228
8-3 傳质对 C_f 的影响	233
8-4 有傳质时化学反应的影响	242
8-5 傳給表面的淨热量	251
8-6 算例	254
8-7 物体形状和压力梯度的影响	261
8-8 結束語	265
第九章 稀薄气体混合物的热力学性质	267
9-1 引言	267
9-2 波耳茲曼統計	268
9-3 乘数 β	271
9-4 配分函数	273
9-5 热力学函数	274
9-6 据量子力学确定配分函数	277
9-7 利用光譜数据	283
9-8 平衡常数	285
9-9 算例-高温空气	291
9-10 結束語	299
第十章 稀薄气体混合物的輸运系数	300
10-1 引言	300
10-2 輸运理論的假設	301
10-3 輸运系数	303
10-4 碰撞积分	312
10-5 分子間力的物理	316
10-6 各种分子間位势	319
10-7 离解空气的輸运性质	324
10-8 气体混合物的輸运性质	337
10-9 組合法則	340
10-10 結束語	343

52.82
230

高超音速粘流

[美] W. H. 多兰斯 著

張仲寅 譯

21552/109



國防工業出版社

內 容 簡 介

本书主要是介紹处理有反应气体混合物的层流和紊流附面层理論，同时提供了計算有反应气体附面层与有反应、熔解、升华和依其它方式分解的表面之間的傳热公式。书中所介紹的理論是从基本原理发展出来的，同时本书还对有关的化学、热力学和物理学的概念，計算稀薄气体混合物的輸运性质及热力学性质的基本理論和方法，以及热化学中有用的某些概念等都作了詳細介紹。

本书可作为高等院校高年級学生或研究生的近代附面层理論課程的教学参考书，也可作为附面层理論研究工作者以及有关工程技术人員的一本有用的参考书。

VISCOUS HYPERSONIC FLOW

[美] William H. Dorrance

McGRAW-HILL BOOK COMPANY, INC. 1962

高 超 音 速 粘 流

張 仲 寅 譯

國防工業出版社 出版

北京市书刊出版业营业許可証出字第 074 号

新华书店北京发行所发行 各地新华书店經售

国防工业出版社印刷厂印裝

850×1168 $\frac{1}{32}$ 印張 $10\frac{3}{4}$ 275 千字

1966 年 4 月第一版 1966 年 4 月第一次印刷 印数：0,001—1,150册

統一书号：15034·1087 定价：(科六) 1.60 元

目 录

本书采用的符号	6
第一章 高超音速傳热問題引論	17
1-1 概述	17
1-2 高超音速加热問題	17
1-3 傳热对高超音速飞行器設計的影响	22
1-4 本书討論范围	24
第二章 附面层方程	25
2-1 引言	25
2-2 气体动力学方程組	25
2-3 附面层方程	37
2-4 把附面层方程化成常微分方程	42
2-5 附面层方程的某些特殊积分	48
2-6 无因次輸运参数	51
2-7 結束語	55
第三章 表面材料和附面层的相互作用	56
3-1 引言	56
3-2 热化学的一些概念	57
3-3 对有反应附面层傳热的各种影响	61
3-4 熔解表面层	66
3-5 傳质影响	73
3-6 固体状态中的热傳导	79
3-7 結束語	84
第四章 离解层流附面层	86
4-1 引言	86
4-2 附面层方程	87
4-3 理想离解气体的附面层方程	89
4-4 离解的影响：反应傳导系数	91

4-5	冻结附面层近似法	96
4-6	驻点解	103
4-7	表面复合的影响	116
4-8	压力梯度和曲率的影响	113
4-9	結束語	119
第五章 层流附面层内的傳质和化学反应		120
5-1	引言	120
5-2	附面层方程的适用性	121
5-3	冻结附面层近似法	123
5-4	附面层傳热	124
5-5	对固体表面的傳热	131
5-6	扩散为主的表面反应	133
5-7	算例	136
5-8	动力学为主的表面反应	146
5-9	气相反应动力学	148
5-10	参考溫度	153
5-11	恢复因子	159
5-12	結束語	163
第六章 前緣鈍度、激波干扰和渦量的影响		164
6-1	引言	164
6-2	前緣激波和附面层的干扰	164
6-3	前緣鈍度的影响	180
6-4	渦量对层流附面层的影响	183
6-5	結束語	190
第七章 离解紊流附面层		193
7-1	引言	193
7-2	有反应的紊流附面层方程	196
7-3	离解紊流附面层方程	203
7-4	C_H 和 C_f 間的关系	205
7-5	紊流表面摩擦系数	210
7-6	表面摩擦系数的計算	216
7-7	結束語	226

第八章 紊流附面层内的傳质和化学反应	227
8-1 引言	227
8-2 傳质对 $2C_H/C_f$ 和 r 的影响	228
8-3 傳质对 C_f 的影响	233
8-4 有傳质时化学反应的影响	242
8-5 傳給表面的淨热量	251
8-6 算例	254
8-7 物体形状和压力梯度的影响	261
8-8 結束語	265
第九章 稀薄气体混合物的热力学性质	267
9-1 引言	267
9-2 波耳茲曼統計	268
9-3 乘数 β	271
9-4 配分函数	273
9-5 热力学函数	274
9-6 据量子力学确定配分函数	277
9-7 利用光譜数据	283
9-8 平衡常数	285
9-9 算例-高温空气	291
9-10 結束語	299
第十章 稀薄气体混合物的輸运系数	300
10-1 引言	300
10-2 輸运理論的假設	301
10-3 輸运系数	303
10-4 碰撞积分	312
10-5 分子間力的物理	316
10-6 各种分子間位势	319
10-7 离解空气的輸运性质	324
10-8 气体混合物的輸运性质	337
10-9 組合法則	340
10-10 結束語	343

本书采用的符号

这里给出本书采用的英文符号、希腊文符号、下标号和上标号的定义。因为许多符号在采用时已加以定义,并且只使用一次,所以,这里定义的只是那些经常用到的符号、下标号和上标号。符号依下列次序按字母顺序排列:英文符号、希腊文符号、下标号和上标号。当符号代表一个数学表达式或用数学关系式定义它更为清楚时,我们都指出了式子的序号。

英文符号

a	音速;也常用作积分常数
a_i, b_i	化学当量系数
A	相互作用理论解中的参数,参看式(6-28)
A_1	参看式(8-25 b)
A_i, B_i	反应物及产物的化学符号
B	相互作用理论解中的参数,参看式(6-29)
B_1	$\frac{2(\rho\nu)_w}{\rho_e u_e C_{f_0}}$, 传质参数
B_2	$\frac{(\rho\nu)_w}{\rho_e u_e C_{H_0}}$, 传质参数
B_3	$\frac{(\rho\nu)_w}{\rho_e u_e C_H}$, 传质参数
B_4	$\frac{G(\infty; S)}{G(\infty; P)} B_3$, 传质参数
B_5	$\frac{2(\rho\nu)_w}{\rho_e u_e C_f}$, 传质参数
B_6	$\frac{(\rho\nu)_w}{\rho_e u_e C_{H_d}}$, 传质参数
c	光速 $= 2.998 \times 10^{10}$ 厘米/秒, 积分常数
C	$\frac{\rho\mu}{\rho_e \mu_e}$

C_F	$s^{-1} \int_0^s C_f ds = \text{平均表面摩擦系数}$
C_f	$\frac{2\tau_w}{\rho_e u_e^2} = \text{局部表面摩擦系数}$
$\overline{C}_{Df}$	平均摩擦系数, 参看式(1-7)
C_{f_0}	在第三章和第八章中表示沒有傳质时的局部表面摩擦系数, 在第七章中表示沒有离解时的表面摩擦系数
C_H	$\frac{-\dot{q}_w}{\rho_e u_e (I_r - h_w)} = \text{傳热系数}$
$\overline{C}_H$	平均傳热系数, 参看式(1-2)
C_{H_d}	$\frac{-(\dot{q}_w)_d}{\rho_e u_e \{ \sum_i h_i^0 [(C_i)_e - (C_i)_w] \}} = \text{扩散傳热系数}$
C_{H_0}	在第三章和第八章中表示沒有傳质时的傳热系数, 在第七章中表示沒有离解时的傳热系数
$\overline{C}_i$	$\sum_i r_{i,k} C_k = \text{元素的质量比, 参看式(2-108)}$
C_i	$\frac{\rho_i}{\rho} = \text{組元的质量比}$
C_p	定压比热
$\overline{C}_p$	$M_i C_p = \text{克分子热容量}$
C_v	定容比热
$\overline{C}_v$	$M_i C_v = \text{克分子热容量}$
C_1	反应率参数, 参看式(4-81)
C_2	相互作用理論中的常数, 参看式(6-33)
C_3	积分常数, 参看式(8-10)
d	点中心斥力势中的参数, 参看式(10-48)
$\left(\frac{du}{ds} \right)_0$	駐点速度梯度
D	每个分子的离解能
D	阻力

D	相互作用理論中的常数, 参看式(6-38)
D_i^T	組元 i 的热扩散系数
D_{ij}	二元扩散系数
$D_T(s, y)$	紊流旋渦扩散系数, 参看式(7-23)
D_{12}	二元扩散系数
E	N_0 个质点的能量或克分子内能, 参看式(7-69)
E	$\frac{u_e^2}{h_e}$ = 埃克特数
E_u	对内部自由度的导热系数的修正因子, 参看式(10-20)
f	$\frac{(\rho v)_w}{\dot{m}_L}$ = 蒸发或气化的熔解比
f_i	第 i 类质点的速度分布函数
$f(\eta)$	約化流函数, 参看式(2-92)和(2-93)
F	自由能 = $H - TS$
$F(r)$	$-\frac{d\theta}{dr}$ = 二个碰撞质点間的相互作用力, 参看式(10-27)
$F(s)$	物体形状修正因子, 参看式(4-112)
$F(Y)$	参看式(6-62)
F_1	参看式(7-56 b)
F_2	参看式(8-44 b)
g	重力加速度
$g(\eta)$	$\frac{I}{I_e}$ = 約化总焓
g_f	$\frac{I_f}{(I_f)_e}$ = 約化部分热焓
g_n	量子能态 n 的退化度或多重性
G	$\frac{Y(s)}{\delta^*(s)}$, 参看式(6-52)
G	参看式(7-41)和(7-42)

$G(\infty; Z)$	参看式(4-75)
G_{ik}	輸运性质参数, 参看式(10-5)
h	$\sum_i C_i h_i =$ 混合物的热焓
h	普朗克常数
h_c	化学热焓, 参看式(5-50)和(5-77)
h_i	$\int_0^T C_{pi} dT + h_i^0 =$ 組元热焓
h_i^0	組元 i 的生成热焓
H	溶解物质的有效热容量, 参看式(3-40)
H	克分子热焓 $= Mh$
H_{eff}	燒蚀物质的有效热容量, 参看式(3-62)
H_f	$\frac{\delta^*}{\theta}$ 形状因子, 参看式(8-124)
$i, j, k,$	单位矢量
I	剛性轉子的轉动慣量, 参看式(9-56)
I	$h + \frac{u^2}{2} =$ 总焓
I_f	$I - \sum_i h_i^0 C_i =$ 部分热焓, 参看式(4-60)
I_n	在式(6-21), (9-15), (9-19), (9-54), (7-70 b) 和(7-87)中, n 分別等于 0, 1, 2, 3, 4, 5 的各种积分
j	轉动量子数
J_{ii}	碰撞积分, 参看式(2-19)
k	波耳茲曼常数
k	导热系数
k_i	組元 i 的导热系数
k_r	反应傳导系数, 参看式(4-36)和(4-37)
k_D	离解率常数
k_R	复合率常数

k_T	参看式(2-49)
K	混合长常数, 参看式(7-68)
K_i	分子从元素生成的平衡常数, 参看式(9-93)
K_i	組元 i 的单位体积的变化率
K_i	当 $i = 1, 2, 3, 4, 5$ 或 6 时的平衡常数
K_p	平衡常数, 参看式(9-81)
l	轉动量子数
L	$\frac{\rho D_{12} C_{pf}}{k} = \frac{P}{S} = \text{刘伊斯数}$
L_m	熔解热
L_v	蒸发热
$\bar{m}$	$m_1 m_2 (m_1 + m_2)^{-1} = \text{約化质量}$
m_i	組元 i 的质量
$\dot{m}_L$	单位面积的液体熔解率
M	馬赫数
M	分子量, 克/克分子
M_i	組元 i 的分子量
n_i	組元的数密度
n_0	具有最小能量 ϵ_0 的质点数目, 参看式(9-24)
N	比例常数, 参看式(3-41)
$N(s)$	归一化参数, 参看式(2-79 a) 和 (2-89)
N_0	阿伏加德罗数 $= 6.02472 \times 10^{23}$ 分子数/克分子
Nu	$\frac{-\dot{q}_w s C_{pw}}{k_w (I_r - h_w)} = \text{努賽尔数}$
p	压力
p_i	組元 i 的分压
P	$\frac{C_{pf} \mu}{k} = \text{普朗特数}$
P_{eq}	$\frac{C_p \mu}{k + k_r} = \text{平衡混合物的普朗特数}$

$\dot{q}$	傳热率
Q	任何应变变量
Q	热量
Q	配分函数, 参看式(9-26)
Q'	$Q - \bar{Q}$
$Q^{(g)}$	碰撞横截面, 参看式(10-37)
Q_i	参看式(7-10)
$\bar{Q}_i$	参看式(7-11)
r	刚性轉子的长度, 参看式(9-57)和(9-58)
r	二碰撞质点間的徑向距离
r	恢复因子
$\mathbf{r}$	$x\mathbf{i} + y\mathbf{j} + z\mathbf{k}$ = 位置矢量
r_e	在最小势能时质点間的半徑, 参看图 10-1
$r_{i,k}$	由元素 i 影响的組元 k 的质量比, 参看式(5-81)
$r_0(s)$	在子午面內的旋成体的半徑
R	$N_0 k = M_i R_i$ = 普适气体常数
$\bar{R}$	混合物的气体常数 = $\sum_i C_i R_i$
R_e	$\frac{\rho_e u_e s}{\mu_e}$ = 基于局部自由流性质的雷諾数
$\bar{R}_e$	約化雷諾数, 参看式(8-135)
R_i	組元 i 的气体常数 = $\frac{R}{M_i} = \frac{k}{m_i}$
R_w	$\frac{\rho_w u_w s}{\mu_w}$ = 基于边壁处性质的雷諾数
R_∞	$\frac{\rho_\infty u_\infty s}{\mu_\infty}$ = 基于自由流性质的雷諾数
s	电量子数
s	比熵 = $\frac{S}{M}$
s, y	正交座标