

流体动力学的新发展 (高速流)

上 册

霍 华 斯 主 编

科 学 出 版 社

52.71

流體動力學的新發展

(高 速 流)

上 冊

主 編 霍 華 斯

助理編者 斯 傀 亞 與 勞克

譯 者 徐 華 舫

zk544/21

科 學 出 版 社



52.71
272
:2

流体动力学的新发展

(高 速 流)

下 册

主 編 L. 霍 华 斯
助理編者 斯 傀 亞 与 **劳 克**
譯 者 徐 华 舫

21544/51

科 学 出 版 社



L. Howarth
MODERN DEVELOPMENTS IN
FLUID DYNAMICS
HIGH SPEED FLOW

Oxford: at the Clarendon Press

1956

內 容 提 要

這部書是英國的一些流體力學方面的學者集體寫的。它基本上總結了1948—1949年以前氣體動力學各方面的發展。書中包括了廣泛的高速氣流的理論問題，也包括了研究高速氣流的各種實驗方法。涉及的面廣，理論與實驗方法、實驗結果並提，是本書的兩大特色。

開頭兩章是主編霍華斯寫的。第一章講高亞聲速氣流與超聲速氣流在質方面的基本特徵。第二章是可壓縮氣流的運動方程系。以下各章是邁登等人分別寫的特性綫法，衝激波（包括爆炸波），無黏性氣體均熵流的一些恰解，一維流，速度面法，近似法，非定常流，附面層，實驗方法，機翼及柱體的實驗結果，氣流過旋成體的流動等，最後一章是傳熱。

流 體 動 力 學 的 新 發 展

（高 速 流）

上 冊

L. 霍 華 斯 著
徐 華 舫 譯

*

科 學 出 版 社 出 版（北京朝陽門大街117號）

北京市書刊出版業營業許可證出字第061號

科學出版社上海印刷廠印刷 新華書店總經售

*

1958年10月第 一 版	書號：1474 字數：450,000
1958年10月第一次印刷	開本：787×1092 1/18
（滬）0001—1,814	印張：19 4/9

定價：(10) 3.00 元

L. Howarth
MODERN DEVELOPMENTS IN
FLUID DYNAMICS
HIGH SPEED FLOW

Oxford: at the Clarendon Press
1953

內 容 簡 介

本书是英国的一些流体力学方面的学者集体写的,它基本上总结了1948—1949年以前气体动力学各方面的发展。书中包括了广泛的高速气流的理论问题,也包括了研究高速气流的各种实验方法。涉及的面广,理论与实验方法、实验结果并提是本书的两大特色。

开头两章是主编霍华斯写的。第一章讲高亚声速气流与超声速气流在质方面的基本特征,第二章是可压缩气流的运动方程系,以下各章是迈益等人分别写的特性线法、冲激波(包括爆炸波)、无黏性气体均流的一些恰解、一维流、速度面法、近似法、非定常流、附面层、实验方法、机翼及柱体的实验结果和气流过旋成体的流动等,最后一章是传热。

流体动力学的新发展
(高 速 流)

下 册

L. 霍 华 斯 等 著
徐 华 舫 译

*

科学出版社出版 (北京朝阳门大街117号)
北京市书刊出版业营业许可证书字第061号

中国科学院印刷厂印刷 新华书店总经售

*

1959年10月第一版	书号:1915 字数:309,000
1959年10月第一次印刷	开本:787×1092 1/16
(京)0001—2,800	印张:13 2/9 插页:11

定价: 2.40 元

霍 華 斯 序

從二次世界大戰期間起，高速飛行及彈道學方面的研究所累積的知識迅速增多起來，這就要求另有一部書接着本叢書的第一部（譯者按：係指 Goldstein 編著的“流體動力學的新發展——關於附面層、紊流及尾流的理論及實驗”，Oxford Univ. Press 出版，1938 年。）寫下去，那部書主要是講不可壓縮流的，這部書主要應該講壓縮性的作用。這個建議為航空研究評議會(Aeronautical Research Council)所歡迎，特別為該會當時的主席果爾斯汀 (Goldstein) 教授所贊許，果爾斯汀就是本叢書第一部的編著人；克拉蘭登出版社(Clarendon Press)也歡迎這個建議。

原來的意圖大了一點，打算除添寫高速部分之外，同時把第一部書加以修訂。現在修訂工作不得不暫緩一步；只是其中有兩章關於傳熱方面的材料，已作局部改寫、修訂、合而為一章，放進這部書裏了。我們認為這樣處理是最合適的。

這一次，航空研究評議會決定，不像第一部那樣編著者總用一個人名字，而是每章分別註出該章作者的名字。這樣一來，各章作者就可以保持自己的特有寫作風格了，雖說如此，可是凡有不連氣的地方，或者符號不一致的地方，或是有重大的不協調的地方，責任都在我個人身上。此外，我還必須對本書問世的遲緩，負全部責任，這部書的各個籌備階段遠較我所預期的為長。

這部書裏沒有列載作可壓縮流計算用的詳盡數據。要找這方面的數據有兩本書可查：“可壓縮空氣流：數值表”(英文)和“可壓縮空氣流：圖綫”(英文)，這兩本書是羅辛海德(L. Rosenhead)教授領導之下的可壓縮流數值表小組做出來的。

在本書的準備過程中，勞克(C. N. H. Lock)先生的逝世奪去了參加本書編寫工作的作者們和我本人一個最有力的合作者。我要感謝他在本書籌備早期中給予我和其他各位作者的一切幫助。

我要感謝所有參與編寫的作者和流體運動委員會(Fluid Motion Sub-Committee)的諸位先生所給予的合作；我要感謝斯傀亞(Squire)教授在準備原稿及插圖過程中自始至終的幫助，以及他對文中各條證明的審讀；我要感謝史蒂華生(Stewartson)博士給我和各位作者的幫助，他十分細緻地校對了文中各條證明；我要感謝航空研究評議會的秘書內勒(Naylor)先生的有力支援和自始至終的鼓勵；我要感謝航空研究評議會的副秘書甘德(Gandy)先生，他負擔了煩重的編索引工作；我要感謝航空研究評議會的出版長官瓊斯(Jones)先生，他幫忙做了許多參考文獻的查對工作；我還要感謝航空研究評議會的全體工作人員，他們在騰打原稿和畫圖上是有求必應的，我還得感謝克拉蘭登出版社的全體工作人員，他們在本書付印的十分艱鉅的工作中給了很大的幫助及厚惠。

霍 華 斯

於不列斯多爾(Bristol) 1953 年 2 月

俄譯本的編者序

上下兩冊的“高速流體動力學”是幾位英國流體力學學者的集體寫作。這部書在一定程度上總結了 1948—1949 年以前可壓縮氣體力學各方面的發展。按計劃這部書是以前所出版的廣泛出名的兩本關於不可壓縮流體流動的書¹⁾之續編。所以這部書包括了有關高速氣體運動的廣泛的理論問題，以及研究高速流動的各種實驗方法。可以肯定地說，到目前為止，在已經問世的各種可壓縮氣體力學的書中，還沒有一本書以這樣的規模同時敘述研究可壓縮氣體的理論和實驗方法的。

從這一點看來，“高速流體動力學的新發展”俄譯本的問世當然是有價值的；這部書，在從事於高速空氣動力學研究工作的科學工作者及工程師，以及在這方面專門化的大學生和研究生中間，將有廣大的讀者。

書的詳細目錄給了我們關於內容的一個概念。每一章都是著名的專家寫的，書中論述的有許多成果就是他們創立的。這部書的總編輯是霍華斯。他寫了頭兩章——“序言”和“氣流運動的方程”，在這兩章裏，講了高亞聲速流與超聲速流在質上的基本特點的概念，並仔細地推導了描述可壓縮氣體運動的方程系。

在把這部書介紹給蘇聯讀者的同時，必需指出它所具有的一些缺點。首先，如上所述，書中只反映了 1948—1949 以前得出來的高速可壓縮氣體流動的研究成果及結果，因此書中未能反映現時氣體動力學各部門突飛猛進的發展下所得到的許多新結果（特別是關於近聲速的平面平行氣流、一維非定常運動、高超聲速流、附面層與層外的超聲速氣流之間的相互作用等）。

其次，這部書不是一本系統敘述可壓縮氣體力學的書，也不可能是（按作者的原意，也不應該是）這一專業的教科書。從另一方面說，它的個別章，由於簡短的緣故，當然不能替代專題小冊子，對於氣體動力學某個方面的近況還不能說給了詳盡的概念。

還可以指出，雖然有統一的編輯，但書內仍然可以看出各章的寫法是不一致的。例如第四、五、八三章的講法較之第七章或第九章淺得多。也未能完全避免個別的重覆。

在史實性的引證及文獻的引用方面，很可以責難本書的各作者，因為除極少的例外，書中引證的全是英國學者的文章；特別是幾乎完全忽視了蘇聯學者的著作。這一缺點連法國學者熱爾門(P. Germain)在“數學評論”(Mathematical Reviews, vol. 15, No. 6 (1954))上發表的書評中都指出來了。

但書中講到的有許多主要成果是蘇聯學者首先得出來的，並且都是發表在廣泛

1) 原書名為 Goldstein S.: Modern developments in fluid dynamics, 2 vols., 1938. 俄譯本為“Современное состояние гидроаэродинамики вязкой жидкости” под ред. С. Гольдштейна, т. I и II, М., 1948.

流傳的刊物上的，這些刊物在國外也是廣泛流傳的。例如蘇聯學者陶羅德尼參（А. А. Дородницын）、卡理赫曼（Л. Е. Калихман）、基別爾（И. А. Кибель）、克拉西爾其柯娃（Е. А. Красильщикова）、蘭道（Л. Д. Ландау）、勞強斯基（Л. Г. Лойцянский）、謝道夫（Л. И. Седов）、弗朗克爾（Ф. И. Франкль）、赫理斯齊安諾維奇（С. А. Христианович）等人在可壓縮氣體的附面層理論方面、在有關衝激波及爆炸波推進的問題上、在一維非定常運動的理論方面、在可壓縮氣流流過薄翼及其他物形的理論方面、在速度面法及特性綫法的應用上、在近聲速氣流的理論上、在具有燃燒及熱交換的氣流問題等方面、都得出過重要的結果。

這些問題，還有可壓縮氣體力學的其他問題，在柯欽（Н. Е. Кочин）、基別爾與羅賽（Н. В. Розе）合著的“理論流體力學”（莫斯科—列寧格勒，1948，第二版）以及蘭道（Л. Д. Ландау）與黎夫其什（Е. М. Лифшиц）合著的“連續介質力學”（莫斯科，1953，第三版）中都有闡述（蘇聯的青年過去和現在一直用這兩本書學習的），此外還有許多專論的小冊子也對這些問題分別作了詳述，關於這些專論小冊子我們在本書末尾開列了一個書單。我們覺得沒有必要在譯文中改正這部書中有關學術史方面不正確的地方，關於這方面的問題我們介紹讀者去看“蘇聯力學三十年”（莫斯科—列寧格勒，1947），在那裏可以找到正確的史料，還可以找到關於空氣動力學及氣體力學各種問題的詳細文獻表。

契爾內依（Г. Г. Черный）

目 錄

上 冊

第一章 緒論(作者霍華斯 (L. Howarth)).....	1
§ 1. 壓縮性.....	1
§ 2. 動力相似.....	2
§ 3. 亞聲速流與超聲速流, 馬赫錐與馬赫綫.....	4
§ 4. 定常可壓縮流中的流管, 聲速綫.....	7
§ 5. 具有一定波幅的波, 衝激波.....	7
§ 6. 附面層.....	10
§ 7. 拉伐爾噴管.....	12
§ 8. 氣流流過零衝角下無限翼展的對稱機翼, 馬赫數變化的影響.....	15
§ 9. 一定衝角下的二維機翼, 力.....	18
§ 10. 斜置的作用, 後掠.....	19
第二章 氣體流動諸方程(作者霍華斯).....	21
§ 1. 引言.....	21
§ 2. 運動氣體的應變率 and 應力.....	21
§ 3. 熱力學原理.....	23
§ 4. 連續方程.....	31
§ 5. 運動方程.....	31
§ 6. 可壓縮黏性流中環量的變化率.....	32
§ 7. 能量方程, 消耗函數.....	33
§ 8. 聲速.....	37
§ 9. 動力相似.....	38
§ 10. 無黏性不導熱氣體的運動.....	40
§ 11. 二維流和軸向對稱三維流的流函數.....	43
§ 12. 氣體的分子結構.....	43
附錄: 克羅柯的流函數.....	45
第三章 特性綫法 (作者邁益 (R. E. Meyer)).....	47
§ 1. 引言.....	47
§ 2. 定常流的運動方程.....	47
§ 3. 馬赫綫.....	49
§ 4. 流綫.....	50
§ 5. 唯一性定理.....	51
§ 6. 馬索積分法.....	52
§ 7. 軸向對稱流在對稱軸上的條件.....	55

§ 8. 二維均熵非旋流	55
§ 9. 聲速綫附近的條件	58
§ 10. 馬索法的應用舉例	59
(a) 二維對稱的風洞噴管和射流	
(b) 圓截面導管中聲速氣流繞管壁一突緣之膨脹	
§ 11. 古德利對馬索法的推廣	63
§ 12. 非定常流：一般的方程	64
§ 13. 非定常均熵流	66
§ 14. 一維非定常均熵流	67
§ 15. 例：活塞作等速後退時管中所產生的流動	68
補充文獻	70
第四章 衝激波和爆炸波	71
第一部分 衝激波(作者依靈華斯(C. R. Illingworth))	71
§ 1. 引言	71
§ 2. 平面波	71
§ 3. 明渠中不可壓縮流體的波	74
§ 4. 聯結衝激波兩邊各項物理量的諸方程	75
§ 5. 衝激波的內部結構	82
§ 6. 渦	88
§ 7. 定常二維超聲速氣流中衝激波的產生	89
§ 8. 兩衝激波的相交	92
第二部分 爆炸波(作者金虛(G. J. Kynch))	99
§ 9. 引言	99
§ 10. 各向一致膨脹的球所引起的運動	100
§ 11. 高壓強比之下的衝激波條件	101
§ 12. 拉格朗日形式的流動方程	102
§ 13. 能量方程	103
§ 14. 高壓下衝激波的推進速度, $g_s \ll 1$ 的情形	104
§ 15. 根據相似的假設決定流動	105
補充文獻	107
第五章 無黏氣體定常均熵流動方程的一些恰解(作者比克利(W. G. Bickley))	109
§ 1. 引言	109
§ 2. 渦	109
§ 3. 徑向流動	109
§ 4. 螺旋流	111
§ 5. 超聲速氣流繞外鈍角的膨脹(浦朗佗-邁登膨脹)	114
§ 6. 繞外突曲面的二維氣流	119
§ 7. 由徑向流到直勻流的轉變(超聲速風洞的設計)	120
§ 8. 過尖劈的流動	122

§ 9. 超聲速氣流中有衝角的平板	123
§ 10. 菱形翼型	124
§ 11. 超聲速氣流流過圓錐	126
第六章 一維流 (作者桑德斯 (O. A. Saunders))	130
§ 1. 引言	130
§ 2. 一維定常流的一般能量方程	130
§ 3. 可逆流或無損失的流動的能量方程	133
§ 4. 有通道截面積在內的一些關係式	135
§ 5. 有熱交換而無損失的等截面管流	140
§ 6. 高速氣流傳熱的實驗研究	144
§ 7. 動量方程	144
§ 8. 有摩擦的等截面管中的斷熱流	145
§ 9. 同時有面積變化、摩擦及熱交換的管流	148
§ 10. 溫熵圖上的氣流變化曲綫	149
§ 11. 凝結突躍	150
補充文獻	152
第七章 速度面變換法 (作者來特希爾 (M. J. Lighthill))	153
§ 1. 速度面方程的推導	153
§ 2. 卡門-錢學森近似法	154
§ 3. 恰普雷金法 (氣體射流)	157
§ 4. 超幾何函數 $\psi_n(\tau)$ 的特性	160
§ 5. 繞物體的流動 (亞聲速區, 無環量)	164
§ 6. 有環量的流動	169
§ 7. ψ 的其他形式: 到超聲速區的延展	172
§ 8. 極限綫	173
§ 9. 枝綫. 具有一條直流綫的跨聲速流	179
§ 10. 繞物體流動的一例	182
補充文獻	185
第八章 近似法 (作者華德 (G. N. Ward))	186
§ 1. 引言	186
§ 2. 亞聲速流——綫化近似法	187
§ 3. 二維亞聲速翼型——綫化近似法	188
§ 4. 亞聲速流中的庫泰-儒可夫斯基關係式	189
§ 5. 三維亞聲速機翼——舉力綫理論	190
§ 6. 亞聲速流中的細長體——綫化近似法	191
§ 7. 二維亞聲速流——高級近似	192
§ 8. 二維亞聲速流——電比擬法	194
§ 9. 超聲速流——綫化近似法	195
§ 10. 二維超聲速機翼——綫化近似法	196

§ 11. 二維超聲速翼型——高級近似法	199
§ 12. 三維超聲速機翼——綫化近似法	202
§ 13. 超聲速錐型流——綫化近似法	206
§ 14. 超聲速流流過尖細物體——一次近似	210
§ 15. 超聲速氣流流過細長旋成體的流動	213
§ 16. 細長旋成體帶有小展弦比的機翼——一級近似	218
§ 17. 軸向對稱超聲速流：對稱軸在流場之中——綫化近似法	219
§ 18. 細長體在跨聲速流中——相似律	222
補充文獻	224
第九章 非定常流（作者鄧普爾 (G. Tempel)）	226
第一部分 綫化近似法	226
§ 1. 引言	226
§ 2. 運動方程	226
§ 3. 波動方程	227
§ 4. 下洗	229
§ 5. 準定常超聲速機翼理論	231
§ 6. 無限展弦比機翼的一般超聲速理論	234
§ 7. 有限展弦比機翼的超聲速理論	237
§ 8. 無限展弦比機翼的概括亞聲速理論	244
§ 9. 有限展弦比機翼的亞聲速理論	247
§ 10. 細長旋成體	249
§ 11. 其他方法及其他問題	252
§ 12. 綫化近似法的限度及伸延	254
第二部分 各氣動導數的理論值和實驗值	255
§ 13. 無限展弦比的亞聲速機翼	255
§ 14. 無限展弦比的超聲速機翼	260
第十章 附面層（作者楊 (A. D. Young)）	263
§ 1. 引言	263
§ 2. 二維層流運動，沿平板的流動	264
§ 3. 沿曲壁的流動	267
§ 4. 軸對稱流	268
§ 5. 動力相似及熱力相似，無量綱形式的方程	270
§ 6. 重力所產生的質量力的影響	271
§ 7. 密度與黏性隨溫度的變化律，空氣的浦朗佗數之值	271
§ 8. 米賽斯的定常運動方程之變換法的引伸	273
§ 9. 附面層的動量積分方程	273
§ 10. 理想氣體的能量方程的另一些形式	276
§ 11. 物面上各點速度分佈曲綫與溫度分佈曲綫的相似條件	279
§ 12. 層流附面層方程的克羅柯變換	279

§ 13. 在理想氣體的直勻流中衝角爲零的平板上的定常層流附面層.....	281
§ 14. 柱體上的定常層流附面層.....	301
§ 15. 層流附面層的穩定性.....	312
§ 16. 紊流附面層方程，平板上紊流附面層總能量的分佈.....	316
§ 17. 紊流附面層的速度分佈及表面摩擦.....	319
§ 18. 尺度影響以及衝激波與附面層的交互作用.....	323
補充文獻	335
名詞對照表.....	337

目 录

下 册

第十一章 实验方法 (作者 荷尔德 (D. W. Holder), 麦克菲尔 (D. C. MacPhail) 与 汤姆逊 (J. S. Thompson))	341
第一部分 风洞及运动物体	341
§ 1. 引言	341
§ 2. 高速风洞	341
§ 3. 高速风洞设计	346
§ 4. 超声速风洞的喉道及喷管	346
§ 5. 喷管的曲线	351
§ 6. 试验段	357
§ 7. 扩压器	357
§ 8. 高速风洞的运转方法	361
§ 9. 暂冲式风洞	363
§ 10. 风洞“驼峰”术	365
§ 11. 冲激波管	365
§ 12. 运动物体试验法	366
第二部分 风洞实验的不确定因素及修正问题	366
§ 13. 引言	366
§ 14. 工作段洞壁的干扰	367
§ 15. 风洞约束作用的线性理论	368
§ 16. 总诱导速度	370
§ 17. 修正的用法	372
§ 18. 涡和点源的位置的影响	373
§ 19. 翼展和长度的影响	373
§ 20. 线性理论的可用程度	374
§ 21. 其他的方法	375
§ 22. 实验的验证	377
§ 23. 超声速风洞	378
§ 24. 风洞壅塞以及接近 $M = 1$ 的实验	378
§ 25. 模型支架的影响	380
§ 26. 可能使工作流体的性质偏离理想气体性质的一些因素	380
§ 27. 湿汽的影响和凝结的影响	383
§ 28. 紊流和来自工作段下游的扰动的影响	388

第三部分 量測	389
§ 29. 引言	389
§ 30. 压强的量測	389
§ 31. 正压力所产生的作用力	394
§ 32. 用尾跡詳測法确定型阻	395
§ 33. 压力計	398
§ 34. 馬赫表	400
§ 35. 溫度的量測	400
§ 36. 測向器	401
§ 37. 力的直接量測	402
第四部分 流动的觀察法和照象	404
§ 38. 貼羊毛法	404
§ 39. 利用折射率变化的方法	405
§ 40. 干涉仪法	406
§ 41. 紋影法	410
§ 42. 直接阴影法	413
§ 43. 用 X 射綫量密度	416
§ 44. 观察超声速气流中的楔子和圓錐以决定馬赫数的方法	416
§ 45. 附面层的轉捩点	416
§ 46. 比拟法	419
补充文献	420
第十二章 流过机翼和柱体的流动(作者梅尔 (W. A. Mair) 与比万 (J. A. Beavan))	424
§ 1. 引言	424
§ 2. 过机翼的高速流及冲激波的形成	424
§ 3. 低于临界馬赫数的亚声速气流中, 机翼上的压强分布	425
§ 4. 高亚声速流中机翼上的压强分布, 冲激波	428
§ 5. 超声速流中的机翼	436
§ 6. 阻力, 亚声速流	438
§ 7. 举力, 亚声速流	445
§ 8. 俯仰力矩, 亚声速流	450
§ 9. 超声速气流中翼型上的作用力和力矩	453
§ 10. 有限翼展的机翼	456
§ 11. 斜置翼及后掠翼	459
§ 12. 圓柱体	462
第十三章 流过旋成体的流动	466
§ 1. 引言	466
§ 2. 正置时的压强分布	468
§ 3. 斜置时的压强分布	481
§ 4. 尾跡中的压强分布	484

§ 5. 阻力、举力及力矩	484
§ 6. 射击試驗	488
§ 7. 射击試驗. 量測技术	494
§ 8. 稳定性及阻尼	497
§ 9. 其他	500
§ 10. 跨声速区	500
第十四章 传热(作者斯傀亚(H. B. Squire))	506
§ 1. 引言	506
第一部分 层流	507
§ 2. 状况方程及运动方程	507
§ 3. 能量方程	508
§ 4. 动力相似. 受迫对流	509
§ 5. 动力相似. 自由对流	511
§ 6. 位流中热的对流	511
§ 7. 附面层方程	512
§ 8. 边界条件	514
§ 9. 附面层的动量积分方程和能量积分方程	515
§ 10. 热力进口段的长度之一解	516
§ 11. 圆管中的层流. 定值温度的壁面	517
§ 12. 具有定值温度陡度的圆管中的层流	520
§ 13. 在平行于流动的平板上层流附面层內的受迫对流	521
§ 14. 平板溫度計在气流中的讀数	524
§ 15. 物体在气流中的动力温度	526
§ 16. 柱体上前駐点附近的受迫对流	529
§ 17. 受迫对流的其他解	530
§ 18. 起自圆柱体的受迫对流	531
§ 19. 柱体及机翼的传热量計算	533
§ 20. 一块豎立热平板所引起的自由对流	534
§ 21. 具有紊流附面层的自由对流	540
§ 22. 其他的自由对流問題	541
§ 23. 用阴影法和干涉仪量传热	542
第二部分 紊流	543
§ 24. 渦流传热的方程	543
§ 25. 例: 平行壁之間的流动, 壁面在流动方向有定值的温度陡度	544
§ 26. 混合长度論	545
§ 27. 传热量与表面摩擦之間的雷諾比拟	546
§ 28. 雷諾比拟的进一步考究	546
§ 29. 热壁面附近的温度分布	548
§ 30. 热平板所产生的温度分布及其传热量	551
§ 31. 萊哈特(Reichardt) 的推广的交換論	552

§ 32. 通过热管的流动. 温度分布	554
§ 33. 通过热管的流动. 管壁的传热率	557
§ 34. 管中流动的理论及实验对比	560
§ 35. 管中的高速流动	562
§ 36. 由柱体及机翼传出的热量的计算	562
§ 37. 两迴轉圓筒之間的温度分布	562
附录	564
I. 能量方程 (10) 的推导	564
II. 扩散及其与传热之间的比拟关系	565
补充文献	569
名词对照表	571