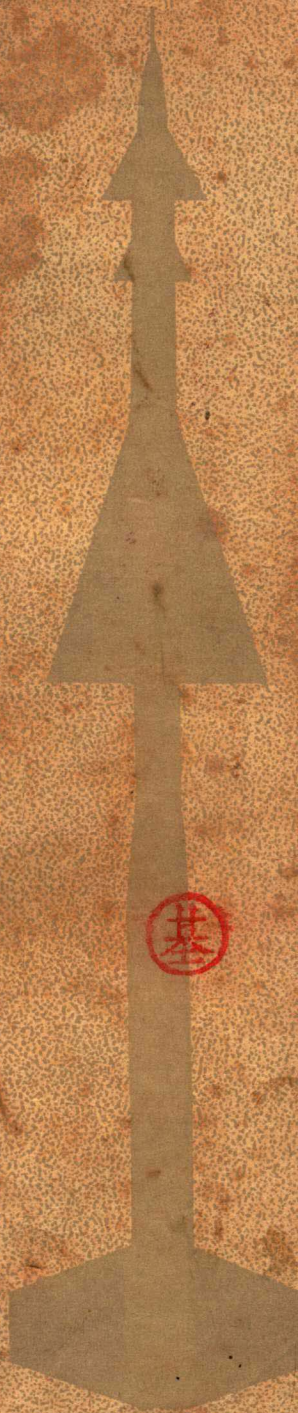


G. P. 萨登 著

火箭发动机



国防工业出版社



火箭发动机

基本理論和构造

G. P. 薩登著

任新民譯



國防工業出版社

內 容 介 紹

本書系按 John Wiley & Sons, Inc. 1956年第二版翻譯的。內容比第一版更廣泛地敘述了火箭技術上的基礎知識和一些技術問題，並對火箭發動機的工作原理、應用和設計，作了更豐富和更全面的敘述。在新版中作者企圖包括直到目前為止的火箭技術的最新內容，對一些技術上的特點和基本原理作了進一步的闡明。本書在第一版的基礎上添加了新材料、新數據和新插圖，每章中都有改變和補充，還另加了三章，內容比第一版增多了將近百分之六十。

本書可供有關的工程技術人員、研究人員參閱，並可作有關院校的教本。

GEORGE P. SUTTON
ROCKET PROPULSION ELEMENTS
NEW YORK • JOHN WILEY & SONS, INC.
London • Chapman & Hall, Ltd.

火 箭 發 動 機 基本理論和構造

〔美〕 薩 登 著
任 新 民 譯

*

國防工業出版社出版

北京市書刊出版業營業許可証出字第074号
機械工業出版社印刷廠印刷 新華書店發行

*

850×1168 1/32 12¹/₄印張 315,000字

一九五八年八月第一版

一九五八年八月北京第一次印刷

印數：1-1,100冊 定價：(10) 2.30元

第 二 版 序 言

本書重寫後包括了火箭技術上更廣泛的基礎知識和一些技術問題，並對火箭發動機的工作原理、應用和設計作了更豐富和更全面的敘述。

這一新領域的進展，特別是最近幾年，確實是快的。在新版書中企圖包括到目前為止的火箭技術的最新內容。對有些技術上的特點和基本原理作了進一步的澄清。在原書中添加了新材料、新數據、新插圖，每一章中都有改變和補充，還另寫了三章。因而使得這本書比第一版增多了將近百分之六十。

本書內容由三大不同部分組成。重寫的幾章專門討論液體推進劑火箭、液體推進劑及液體火箭^①的設計。第二大部分新加三章，包括固體推進劑火箭的基礎、工作物質和固體火箭的設計。本書的大部分內容（第一章到第五章，以及第十二章、第十三章）是討論熱力學的一般原理、化學、熱傳輸、飛行理論、歷史背景以及試驗方法；最後一部分是通用的，可以應用於液體火箭也可應用於固體火箭。新加的關於熱傳輸的一章是想解釋火箭燃燒機構所受到的熱限制。

這些改變是想使這本書更適於訓練新工程師和用作大學教本。書中為學生增添了更多的例題和習題（有些還有答案）；為實際工作的工程師們加了一些補充數據和圖表。

G. P. Sutton. 1956年7月

① 液體火箭是液體推進劑火箭的簡稱。——譯者

第一版序言

本書之目的在說明火箭技術上的基礎知識和一些技術問題，並敘述火箭發動機工作過程的原理和設計。

在過去十多年間，這門新科學曾有很迅速的發展。但其中有些理論和技術問題，還沒有具體或者沒有完全了解，因此就很難清楚地加以說明。作者希望此書出版後，可以對澄清思想有所幫助並鼓勵人們作進一步的研究。

作者希望本書不僅可作為火箭工作者的參考書，還可以作為大學教科書。書中重點地考慮到和實際的聯繫，其中有例題、習題、數據表和插圖。和其他部門科學中豐富的資料比較起來，專門而多方面地討論發動機的著作顯得太少了。如書中各章標題所表明的，作者企圖在這一本書中將火箭各方面的基本理論和實際加以說明。有些特殊的問題，例如星際旅行和水下火箭，因為目前這些方面的技術問題尚未能很好地肯定，所以本書中沒有提出。對於一些基礎技術科學上的各種原理的證明或者闡述，讀者可參看有關的參考書，例如熱力學或燃氣渦輪機。書中重點放在液體火箭而不在固體火箭（或火藥火箭），因為液體火箭的應用要廣泛得多。第三、第四和第八章中所討論的熱力學、熱化學和彈道學對液體火箭和固體火箭均可適用。本書最末一章則討論固體火箭的一般問題。各章末均附有參考資料，可供讀者進一步學習，書中還附有一些重要的數據表和插圖。

此書曾用作大學教科書，本書讀者必須具有初等物理、化學、力學和熱力學的知識。

書中內容和所舉數字均經軍事技術權威審查和核定。有些應該舉出的試驗數據和計算數據，由於保密原因，目前不能公開出版，以致未能列入本書。

G. P. Sutton, 1948年12月

譯 者 的 話

本書是按G.P. Sutton著“Rocket Propulsion Elements”第二版(1956年版)譯出的，也可以說是在第一版中文譯稿的基礎上補譯了新的內容和改譯了部分內容。在譯述第一版時，其中部分內容曾參考俄文本改譯過，所用符號、數據和插圖，均照1952年俄文本改訂過。在本書中除符號仍照英文原著外，其他數據和插圖均照俄文譯本改訂或重訂。

譯 者

1957年5月

符 号

- A ——面积, 公尺²;
 A_b ——固体推进剂的燃烧面, 公尺²;
 A_n ——通气面积(药柱間和药柱四周气体的流通断面积), 公尺²;
 A_t ——噴管喉部面积, 公尺²;
 a { ———— 燃烧常数;
 ———— 橢圓的长半軸;
 a_v ——平均值;
 B_1, B_2 ——迎面阻力积分的数值;
 b { ———— 常数;
 ———— 橢圓的短半軸;
 C_D ——迎面阻力系数;
 C_d ——流出系数;
 C_F ——推力系数;
 C_L ——升力系数;
 C_p ——气体混合物的摩尔定压比热, 仟卡/摩尔·度;
 C_v ——气体混合物的摩尔定容比热, 仟卡/摩尔·度;
 c ——有效排气速度, 公尺/秒;
 $\bar{c}$ { ———— 流体的平均比热, 仟卡/公斤·度;
 ———— 平均有效排气速度, 公尺/秒;
 c_p ——定压比热, 仟卡/公斤·度;
 c_v ——定容比热, 仟卡/公斤·度;
 D { ———— 火箭发动机横断面的內徑, 公尺; (公分);
 ———— 迎面阻力, 公斤;
 E { ———— 輻射总傳热率, 即单位時間內輻射的傳热量, 仟卡/秒;
 ———— 彈性系数, 公斤/公尺²;
 ———— 能量, 公斤-公尺;

e { — 能量轉換效率;
— 最大效率;
— 橢圓的偏心率;

F_0 — 初始推力, 公斤;

F — 推力, 公斤;

$\bar{F}$ — 平均推力, 公斤;

f { — 經驗火焰长度因數;
— 摩擦損失系数;

g — 离地心 R 处的重力加速度, 公尺/秒²;

$\bar{g}, \bar{g}$ — 平均重力加速度, 公尺/秒²;

g_0 — 在海平面的重力加速度, 公尺/秒²;

H — 水头, 公尺;

$(H_s)_A$ — 泵高于蒸汽压力的可用抽吸水头 (淨抽吸水头), 公尺;

$(H_s)_R$ — 泵高于蒸汽压力的需要抽吸水头, 公尺;

ΔH — 泵水头差, 公尺;

h { — 热焓, 仟卡/公斤;
— 薄膜系数, 仟卡/公尺²·秒·度;
— 高度, 公尺;

h_v — 火箭发动机停止工作时火箭的高度, 公尺;

Δh — 热焓变化, 仟卡;

I_s — 比推力或比冲量, 秒或公斤·秒/公斤;

I_t — 总冲量, 公斤·秒;

J — 热功当量, 等于 427 公斤·公尺/仟卡;

K { — 燃燒面对噴管喉部面积的比, $\frac{A_b}{A_c}$;
— 侵蝕常数;

K_n — 用摩尔分数表示的平衡常数;

K_p — 用分压表示的平衡常数;

k — 比热比;

L, l — 长度, 公尺;

- L_b ——药柱长, 公尺;
 L^* ——燃烧室的特征长度, 公尺;
 M { ——动量, 等于 mv , 公尺·公斤;
 ——马赫数;
 m ——火箭的瞬时质量, 公斤;
 $\dot{m}$ ——质量流率 (每秒消耗质量), 公斤/秒;
 m_0 ——发射时质量, 公斤;
 m_p ——推进剂的质量, 公斤;
 M ——分子量, 公斤/摩尔;
 N ——转速, 转/分;
 N_s ——泵的比转速;
 n { ——摩尔数, 摩尔;
 ——常数;
 ——燃速指数;
 n' ——生成物的摩尔数减去作用物的摩尔数, 摩尔;
 P ——功率, 马力;
 p ——压力, 公斤/公分²;
 p_1 ——燃烧室压力, 公斤/公分²;
 p_2 ——喷管排气压力, 公斤/公分²;
 Δp ——压力差, 公斤/公分²;
 Q { ——传热率, 仟卡/秒;
 ——容积流率, 公尺³/秒;
 Q_F ——生成热, 仟卡/摩尔;
 Q_R ——1 公斤推进剂的反应热 (推进剂的热值), 仟卡/公斤;
 q ——单位面积的传热率, 仟卡/公尺²·秒;
 R { ——气体常数, 公斤·公尺/公斤·度;
 ——飞行物体到地球中心的瞬时半径, 公尺;
 R' ——通用气体常数 (848 公斤·公尺/摩尔·度);
 R_0 ——地球半径, 公尺;
 R ——瞬时曲率半径, 公尺;

r { ——混合比 (氧化剂的重量流率对燃料的重量流率);
——推进剂的燃速, 公尺/秒或公分/秒;

S { ——射程, 公尺;
——泵的抽吸比转速;

T ——绝对温度, $^{\circ}K$;

T_0 ——基准温度, $^{\circ}K$;

T_1 ——绝对温度, $^{\circ}K$;

T^* ——假想燃烧室壁的温度, $^{\circ}C$;

t ——时间, 秒;

t_b ——燃烧时间, 秒;

t_p ——由发射到发动机停止工作之间的时间, 秒;

t_s ——停留时间, 秒;

t_t ——由发射起到到达目标止之间的时间, 秒;

t_w ——燃烧室壁厚, 公尺;

u ——泵叶轮的尖端速度, 公尺/秒;

V { ——比容, 公尺³/公斤;
——容积, 公尺³;

V_c ——燃烧室容积 (到喷管喉部以前的容积), 公尺³;

v { ——飞行速度, 公尺/秒;
——气体或液体的流动速度, 公尺/秒;

v_a ——在远地点的循轨飞行速度;

v_b ——在近地点的循轨飞行速度;

v_o ——发射速度, 公尺/秒;

v_i ——理论排气速度;

W { ——推进剂的总重量, 公斤;
——燃烧室壁的总重量, 公斤;

W_e ——净重或火箭发动机停止工作时的重量, 公斤;

W_G ——火箭总重量, 公斤;

W_o ——发射时总重量, 公斤;

W_u ——推进剂的有效总重量, 公斤;

w_s ——推进剂的比耗量, 秒⁻¹;

W^* ——在流速 $M=1.0$ 时的重量流率, 公斤/秒;

$\dot{w}$ ——推进剂的重量流率, 公斤/秒;

X ——气体 X 的容积百分数或摩尔分数;

α { — 噴管擴張段的擴張半角;
— 散熱係數 $= k/(\rho \bar{c})$;
— 沖角;

β ——噴管收斂半角;

γ { — 多級火箭的有效荷重比;
— 飛行物體的質量比 ($\gamma = w_o/w_e$);

γ_f ——燃燒室軸和燃料流束間的夾角;

γ_o ——燃燒室軸和氧化劑流束間的夾角;

δ_{av} ——混合物的平均比重;

δ_f ——燃料的比重;

δ_o ——氧化劑的比重;

ε { — 面積比;
— 輻射本領;
— 侵蝕係數;

ε_c ——燃燒室面積比 ($\varepsilon_c = \frac{A_1}{A_t}$);

ζ ——質量比 ($\zeta = m_p/m_o$);

ζ_d ——排氣量修正因數;

ζ_F ——推力修正因數;

ζ_v ——速度修正因數;

η { — 火箭熱循環效率;
— 內效率;

η_p ——推進效率;

η_t ——總效率;

θ ——飛行方向和水平面的夾角;

κ ——導熱係數, 仟卡/公尺·度·時;

- λ ——噴管角修正因數;
 μ { ——絕對粘度; 公斤·時/公尺²;
 ——常數, $\mu = g_0 R_0$;
 ν { ——能量利用效率;
 ——泊松比;
 π_k ——平衡壓力的溫度敏感度係數, °C⁻¹;
 ρ ——密度公斤/公尺³;
 σ { ——史蒂芬-波耳茲曼常數 (Stefan-Boltzmann常數);
 ——應力, 公斤/公分²;
 ——泵抽吸容量;
 ——多級火箭的結構因數;
 σ_γ ——燃燒的溫度敏感度係數, °C⁻¹;
 τ ——回轉周期, 秒;
 ψ { ——常數;
 ——推力和水平面的夾角;
 ω ——固体推進劑 (火藥) 在燃燒室中的充滿係數。

標 号

- a ——真空發動機;
 ap ——輔助動力;
 b ——固体推進劑;
 c ——燃燒室;
 e { ——噴管排氣面;
 ——飛脫條件;
 ——最大效率;
 f ——燃料;
 g { ——氣體;
 ——氧瓶;

- gg ——气体发生器;
 i { ——理想发动机;
 ——起始条件;
 l ——液体;
 max ——最大值;
 n ——壁段数;
 o { ——前端或理想起始条件;
 ——滞点;
 ——氧化剂;
 ——起始条件;
 o_a ——发动机的全部系统;
 P ——泵;
 p { ——生成物;
 ——推进剂贮箱;
 S { ——直管燃烧室;
 ——卫星;
 T ——涡轮机;
 t ——喉部;
 t_c ——燃烧室喷管;
 t_p ——压气瓶;
 t_u ——圆筒燃烧室;
 w_g ——靠气体边的壁表面;
 w_l ——靠液体边的壁表面;
 x { ——在火箭喷管中的任一断面;
 ——任意气体;
 y ——在火箭喷管中的任一断面;
 1 { ——喷管进口断面;
 ——通气道末端;
 2 ——喷管出口断面;
 3 ——大气中。

目 录

第二版序言

第一版序言

譯者的話

符号

第一章 分类和定义	1
§ 1. 通管发动机	1
§ 2. 火箭的分类	3
§ 3. 通管发动机和火箭发动机的組合	12
§ 4. 动量原理	12
§ 5. 效率	15
§ 6. 定义	18
第二章 火箭发展簡史 (包括各种火箭的叙述)	20
§ 1. 上古和中古时期	20
§ 2. 十九世紀的火箭	22
§ 3. 火箭在近代欧洲的发展	24
§ 4. 火箭在美国的发展	30
第三章 噴管理論和热力学	41
§ 1. 理想的火箭发动机	41
§ 2. 热力学公式摘要	42
§ 3. 噴管內的等熵流动	48
§ 4. 眞实噴管	68
§ 5. 經過燃燒区的气体流动	72
§ 6. 基本方程式摘要	79
第四章 火箭推进剂的性能計算	84
§ 1. 假設和定义	85
§ 2. 气体的混合物	87
§ 3. 化学平衡	90
§ 4. 离解	94

§ 5. 燃溫和成应中生成物成分的确定	95
§ 6. 噴管內的化学反应	98
§ 7. 热化学計算的結果	99
第五章 热傳輸	112
§ 1. 穩定傳热的一般关系式	114
§ 2. 火箭推力室的傳热	118
§ 3. 燃燒室的傳热破坏	120
§ 4. 非冷却的燃燒机构	120
§ 5. 向冷却套中液体的穩定傳热	131
§ 6. 飞行物体的傳热	134
§ 7. 輻射	137
§ 8. 射流火焰	138
第六章 液体火箭推进剂	141
§ 1. 分类	141
§ 2. 推进剂的性質和要求	142
§ 3. 各种液体推进剂的討論	146
第七章 液体火箭推力室	155
§ 1. 噴管	156
§ 2. 燃燒过程	157
§ 3. 燃燒室容积	158
§ 4. 推力室机构的冷却	165
§ 5. 材料	168
§ 6. 冷却通道中的水力損失	170
§ 7. 燃燒室壁所受的負荷和应力	171
§ 8. 振动	175
§ 9. 噴注器	176
§ 10. 变推力的推力室	185
§ 11. 推力燃燒室的起動	186
§ 12. 点火系統	187
§ 13. 安裝問題	188
§ 14. 火箭推力室設計計算例題	189
第八章 液体火箭推进剂的輸送系統	201
§ 1. 一般要求	201

§ 2. 气压式輸送系統	201
§ 3. 泵式輸送系統	210
§ 4. 渦輪机—泵式輸送法	210
§ 5. 其他压送法	238
§ 6. 推进剂的附带用途	240
§ 7. 火箭发动机全部系統的比冲量計算	242
§ 8. 控制机构	243
§ 9. 活門	248
§ 10. 系統的校准	252
§ 11. 自动控制	257
§ 12. 推进剂貯箱	259
第九章 固体推进剂火箭的基础	262
§ 1. 固体推进剂火箭的主要部件	262
§ 2. 装药形状	264
§ 3. 燃速	270
§ 4. 火箭性能的基本关系式	272
§ 5. 推力、排气速度和比冲量	273
§ 6. 火箭装药的性能限制	278
§ 7. 固体推进剂火箭和液体推进剂火箭的比較	282
第十章 固体推进剂	283
§ 1. 分类	283
§ 2. 性質要求	284
§ 3. 基本的化学药剂	286
§ 4. 某些固体推进剂的制造	290
第十一章 固体推进剂火箭的設計	297
§ 1. 燃燒室压力的选择	297
§ 2. 药柱的选择	298
§ 3. 燃速和侵蝕	299
§ 4. 作用于药柱上的諸力	301
§ 5. 药柱的燃燒面和火箭軸平行时, 气体的压力 和速度沿火箭軸向的分布	303
§ 6. 装药体积和重量的关系	306
§ 7. 固体推进剂火箭金属件的设计	308

§ 8. 設計計算	313
第十二章 飞行性能	318
§ 1. 作用于飞行器上的力	318
§ 2. 运动基本方程	322
§ 3. 简化后的垂直彈道	324
§ 4. 太空飞行	330
§ 5. 各种类型的火箭	336
§ 6. 射流的空气动力影响	345
§ 7. 飞行稳定性	345
第十三章 火箭試驗	347
§ 1. 試驗类型	347
§ 2. 安全注意事項	349
§ 3. 試驗站	351
§ 4. 仪器	356
§ 5. 飞行試驗	363
§ 6. 数据記錄	367