

高等學校教學用書

船用內燃機 理 論

В. А. ВАШЕЕВ 著

李 渤 仲 譯

高等教育出版社

高等學校教學用書



機 燃 內 用 船

(理 論)

上 冊

B. A. 萬 謝 特 著

李 渤 仲 譯

高等教育出版社

本書係根據蘇聯國立造船書籍出版社 (Государственное издательство судостроительной литературы) 出版的萬謝特 (В. А. Ваншейдт) 著 “船用內燃機 (理論)” (Теория судовых двигателей внутреннего сгорания) 1950 年版譯出, 原書經蘇聯高等教育部審定為造船學院機械製造系教科書, 並於 1952 年榮獲斯大林獎金。

本書也可供研究生, 學生科學技術研究小組組員, 企業、設計局及有關的科學研究院中的工程師與技師採用。

本書中譯本分上下兩冊出版。上冊內容為燃料, 工作循環, 工作指數及特性。下冊內容為燃料的霧化、發火及燃燒的物理—化學變化過程, 掃氣, 過給及熱傳導。

本書由大連工學院造船系內燃機教研組李瀚仲同志譯出, 嚴濟寬及陳大榮同志校閱。

船 用 內 燃 機

(理 論)

上 冊

書號120(該115)

萬 謝 特 著

李 瀚 仲 譯

高 等 教 育 出 版 社 出 版

北 京 瑞 興 廠 一 七 〇 號

(北京市書刊出版業營業許可證出字第〇五四號)

新 華 書 店 總 經 售

京 華 印 書 局 印 刷

北 京 南 新 華 街 甲 三 七 號

開本860×1092—1/28 印張95/14 字數 202,000

一九五四年十月北京第一版 印數 1—1,500

一九五四年十月北京第一次印刷 定價 15.000

序 言

本書中所論述的船用內燃機的理論問題，是依照列寧格勒造船學院機械製造系的教學大綱而編寫的。

本書與 1938 年舊版(船用內燃機，卷一，理論及構造)不同，著者已把它全部重寫，擴大了內容，並增加了新的材料。

本書前四章包括船用內燃機的一般概念及其所用的燃料，理想循環的知識，及蘇聯船用發動機製造的發展簡史。

第五章包括燃燒的熱化學變化過程，及熱力學變化過程中諸問題的敘述，關於在發動機中所發生的變化過程的說明，是以 В. И. 格利聶維茨基(Гриневецкий)及 Е. К. 馬金格(Мазинг)兩教授的著作為基礎，由著者重新編寫，並加以補充。內燃機中所發生的熱力學變化過程的討論，以示功及有效工作指數及船用發動機的特性(第六章及第七章)，作為結尾。

鑑於最近燃料的霧化、發火，及燃燒的實際物理——化學變化過程問題，對於發動機今後的發展，具有特殊的意義，著者根據蘇聯學者的成就，將這些問題，在本書的第九到十二章中，綜合的加以討論。

關於發動機中一系列的現實及複雜的理論問題，例如：過給、熱傳導，及二衝程發動機中排氣及掃氣問題等，在本書中列出了特別的章節加以討論(第十三到第十五章)，因為這些問題有它們獨自的特點，須要充分的予以闡明。

本書中有一部份材料(例如：§ 35, 37, 41, 51, 及 57)，是屬於附加性質的，它們可作為學生科學技術研究小組組員、研究生等深入學習時之用。

鑑於現今所製造的船用發動機，主要的是屬於燃料直接噴射自行

發火式的類型(也就是所謂“無壓縮機式狄色爾”),著者在本書中,只討論了這種類型的發動機,爲了簡單起見,以後就把這種類型的發動機,簡稱為“發動機”。

著者對參預本書各章編纂及校對工作的學生及同事,誌以衷心的感謝,即:技術科學候補博士 В. М. 剛恰爾(Гончар)(第四及第五章),技術科學候補博士 Б. А. 軋哈林科(Захаренко)(第九及第十章),技術科學候補博士 В. П. 弗羅克夫斯基(Воронковскии)(第二章),及本教研組的研究生 Л. Я. 塔巴赤尼科夫(Табачников)(第十三章)和 В. Г. 西士金(Шискин)(第八章)。

此外,著者對技術科學博士 Д. Н. 維如波夫(Вырубов)教授,及 И. А. 波諾馬列夫(Пономарев)教授,細緻的校閱本書原稿,並給予有價值的指示,表示深謝。

著者識

緒 論

燃料自行發火式的發動機(即所謂“狄色爾”),是內燃機中最完善的形式,它的實際應用,已有五十年以上的歷史。大家知道,世界上第一個製造用重液體燃料工作的自行發火式發動機的榮譽,應該歸於“俄羅斯狄色爾”工廠(1899年)。在這個工廠,以及其他一些工廠裏(例如,哥羅門斯基 Коломенский 工廠)所造出過的一系列構造形式,是現代發動機的原形,它們在許多方面,曾經預先確定了全世界發動機製造的發展途徑。

燃料自行發火式發動機,在它自己五十餘年的存在中,在國民經濟中極其不同的許多部門裏,曾經獲得了廣泛的應用。

應用自行發火式發動機的最巨大領域之一,是在海船及河船方面。它們在這方面既用為主機,又用為副機。從1903—1907年起,我國就佔有運用燃料自行發火式發動機於民用及軍用艦船上的優先地位。自那時起,內燃機船的製造就已獲得了巨大的發展,到了現今,燃料自行發火式發動機在船用動力裝置中已經佔有了極優勢的地位。至於在軍艦方面,其中個別的艦種,例如:潛水艇,魚雷艇,及其他等船隻中,燃料自行發火式發動機的應用,已經達到了獨一無二的地步,排斥了所有其他形式的發動機。

再簡短的看一看國民經濟的其他部門,其中燃料自行發火式發動機也獲得了廣泛的應用。

在固定式的場合下,不論在大型或小型的動力裝置中,燃料自行發火式發動機的應用,都著有成效(例如:大型發電站及農業上的小型動力裝置)。

在鐵路運輸方面,燃料自行發火發動機裝在內燃機車上也裝在

輔助的牽引設備（摩托小機車，鐵路用摩托車及其他）上。

在晚近十年中，燃料自行發火式發動機的應用，又獲得了一系列新的領域：拖拉機、載重汽車、公共汽車、築路機，及起重運輸機等。現今燃料自行發火式拖拉機發動機的產量，在總的功率上已經超過了所有其他型式燃料自行發火式發動機的產量。

從上述關於燃料自行發火式發動機主要應用範圍的簡短列舉中我們可以看出，沒有任何一種別的式樣的發動機，在其萬能性及應用範圍的多樣性上，堪與燃料自行發火式發動機相比擬。

燃料自行發火式發動機在國民經濟中之所以能被廣泛應用的主要原因：

- 1) 它的高度經濟性，超過所有其他型式發動機的經濟性。必須指出，不僅在大型動力裝置，並且在小型動力裝置中，燃料自行發火式發動機都具有高度的經濟性，此外，這個經濟性通常在發動機的全部運轉範圍內保持不變；
- 2) 能夠適應巨大的功率範圍，從 1 馬力到 25000 馬力的聯合裝置，單位重量從 50 公斤/有效馬力，到 0.5 公斤/有效馬力；
- 3) 可以使用廉價的燃料，這樣就減低了運轉時的支出；
- 4) 經常可以準備立刻起動，並且能夠很快的運行到全載荷，這對於船用動力裝置，是有巨大的意義的。

我國發動機製造今後發展的目標，應該致力於擴大燃料自行發火式發動機在國民經濟中的應用範圍到新的領域裏去，同時要製出新的更完善的構造形式，以滿足新技術條件的需要。在運輸用的動力裝置中，包括造船方面在內，要求更進一步的減小發動機的體積及重量，及降低單位功率的耗油量。想達到這些要求，可以用增加速度，增強燃料燃燒過程的效率，利用“過給”增加工質的重量，及一系列構造上的措施，還必須使發動機的運轉自動化，以簡化對它的照管，並廣泛運用動力裝置操作中的斯達漢諾夫工作者及革新家們的經驗，以提高發動機

運轉的有利性。

由於黨和政府對這個問題的經常重視，又由於在晚近年代中，科學工作者及生產工作者之間建立起來的密切聯系，可以毫無疑問的說，我們的學者、設計家，和工程師們，會同生產上的斯達漢諾夫工作者和革新家，一定可以有成效的解決上述一切以及一系列其他同我國發動機製造業發展有關的許多問題。

主要符號凡例

- V_0, p_0, T_0 — 環境的體積, 壓力及溫度;
 V_a, p_a, T_a — 壓縮起點的體積, 壓力及溫度;
 V_c, p_c, T_c — 壓縮終點的體積, 壓力及溫度;
 V_z, p_z, T_z — 燃燒終點的體積, 壓力及溫度;
 $V_{z'}, p_{z'}, T_{z'}$ — 後燃終點的體積, 壓力及溫度;
 V_b, p_b, T_b — 膨脹終點的體積, 壓力及溫度;
 V_r, p_r, T_r — 排氣終點的體積, 壓力及溫度;
 V_r, p_r, T_r — 排氣管內的體積, 壓力及溫度;
 V, V_u, V_e — 工作氣缸的瞬時, 全部及有效容積;
 L_0, L — 燃燒每公斤燃料所需的理論及實際空氣量, 單位: 莫爾;
 L_0^*, L^* — 燃燒每公斤燃料所需的理論空氣量, 單位: 公斤, 公尺³;
 M_r, M_a, M — 壓縮起點的廢氣量, 工質量及燃燒產物量, 單位: 莫爾;
 $\bar{c}_v, \bar{c}_p$ — 雙原子氣體的平均定容及定壓分子熱;
 $\bar{c}_v^*, \bar{c}_p^*$ — 燃燒產物的平均定容及定壓分子熱;
 α, α_{cym} — 過量空氣係數, 總過量空氣係數;
 ϵ, ϵ_d — 全部及有效壓縮比;
 κ_1, κ_2 — 廢熱壓縮及膨脹指數;
 η_H, η'_H — 充氣效率, 條件的充氣效率;
 β_0, β — 理論的計算的分子變化係數;
 γ_r, γ — 廢氣係數, 比重;
 λ, λ_H — 壓力昇高比, 過熱度;
 ρ, δ, ν — 初膨脹比, 後膨脹比, 等溫膨脹比;
 $\xi, \xi_z, \xi_{z'}$ — 總熱利用係數, 到 z 點及 z' 為止的熱利用係數;
 p_i, p_e — 平均示功及平均有效壓力;
 g_i, g_e — 示功及有效耗油量;
 η_i, η_j — 熱效率及示功熱效率;
 η_M, η_e — 機械效率及有效熱效率;

N_i, N_e	—發動機的示功及有效功率;
D, S	—工作氣缸直徑, 活塞衝程;
n, n_m	—發動機轉速, 活塞平均速度;
ψ_s, φ°	—活塞衝程失效部份, 曲軸轉角;
p_s, p_k	—掃氣及過給空氣壓力;
T_s, T_k	—掃氣及過給空氣溫度;
φ, φ_A	—掃氣過量空氣係數——條件的及實際的;
p_d	—掃氣器官剛剛打開時氣缸內的壓力;
p_{11}	—掃氣期間內氣缸內的平均壓力;
η_s, η'_s	—定性及定量掃氣效率;
L_{AK}	—氣泵內空氣的全部絕熱壓縮功;
L_K, L_T	—氣泵內壓縮 1 公斤空氣所作的功, 氣渦輪內 1 公斤氣體所作的膨脹功;
δ_K, δ_T	—壓縮機及氣渦輪的相對功率;
n_K, u	—離心式壓縮機的轉速及其葉輪流速度;
N_K, N_T	—壓縮機及氣渦輪的功率;
η_{AK}, η_K	—離心式壓縮機的絕熱及有效效率;
η_K, η_A	—壓縮機的機械及水力效率
Q_K, Q_e	—燃料的低發熱量, 反應的熱效應;
σ, z	—已射的油量佔每循環總射油量的份數, 已燃燒的燃料的份數 (到該指定的時間);
τ_i, z_i^*	—自行發火的滯燃期間 (秒), 同前但單位以曲軸角計;
K, k_0	—反應速度常數, 碰撞常數;
Q_a, w	—活化能量, 反應速度;
α_r, α_n	—氣體至氣缸壁及氣缸壁至冷却水間的熱傳遞係數;
q_r, σ'	—油點的全部蒸發熱, 燃料已蒸發的份數。

上册目錄

序言	i
緒論	vii
主要符號凡例	xi
第一章 船用內燃機的一般概念	1
§ 1. 船用內燃機的基本工作	1
§ 2. 船用發動機的分類	1
§ 3. 船用內燃機與其他類型熱機的比較	5
§ 4. 蘇聯船用燃料自行發火式發動機的發展簡史	6
§ 5. 在發動機工作循環方面的科學研究工作。內燃機理論的創始者 В. И. 格利森維茨基 (Гриневский) 教授	14
第二章 船用燃料自行發火式發動機的工作體系	19
§ 6. 四衝程發動機的工作體系	19
示功圖及圓形正時圖(22) 四衝程過給式發動機的工作體系(24)	
§ 7. 二衝程發動機的工作體系	26
示功圖及圓形正時圖(28)	
§ 8. 四衝程及二衝程發動機工作循環的比較	32
第三章 船用發動機的燃料	34
§ 9. 船用發動機所用燃料的主要類別	34
§ 10. 液體燃料的成分及組織	35
§ 11. 液體燃料的物理及化學性質	42
§ 12. 船用發動機所用燃料的品種	50
§ 13. 燃料自行發火性的評定	54
十六烷值(56) 燃料的加入劑(59)	
第四章 理想循環	61

§ 14. 活塞式發動機的綜合理想循環及各種循環的熱效率	61
§ 15. 過給式發動機動力裝置的理想循環及各種循環的比較	69
第五章 船用發動機的工作循環	76
§ 16. 工作氣缸的充氣過程及其基本參數	76
廢氣係數(80) 工質的溫度(82) 四衝程發動機的充氣效率(85)	
各種因素對於非過給式發動機充氣效率值的影響(88) 過給式四	
衝程發動機充氣過程的特點(92)	
§ 17. 壓縮過程	98
壓縮比的選擇及複熱壓縮指數的估計(106)	
§ 18. 燃燒過程的熱化學	107
空氣及燃燒產物的分子熱(116) 反應中的熱效應及熱利用係數(125)	
燃燒公式(129)	
§ 19. 膨脹過程	131
在膨脹曲線上的後燃(136) 熱利用曲線的繪製(139)	
§ 20. 四衝程發動機中廢氣的排氣過程	143
廢氣溫度及排氣管中廢氣與空氣的混合氣溫度的求法(145)	
第六章 發動機的示功及有效工作指數	149
§ 21. 示功及相對熱效率	149
示功耗油量(154) 平均示功壓力(156) 發動機的示功功率(168)	
§ 22. 平均有效壓力	171
機械效率(175) 有效(經濟)效率(178) 發動機的有效功率(180)	
§ 23. 功率及經濟性公式的一般形式	181
發動機基本尺寸的求法(183)	
§ 24. 船用發動機的熱平衡	185
熱平衡舉例(189) 發動機熱損失的利用(192) 船用發動機的一些綜合	
指數(195)	
第七章 船用發動機的特性	199
§ 25. 船用發動機的基本運轉情況	199
§ 26. 發動機的外部特性	203
§ 27. 船用發動機的推進特性	208

可變節距螺旋槳的船用動力裝置(211)	
§ 28. 負荷特性.....	212
§ 29. 萬有特性・特性的舉例.....	216
第八章 船用發動機(非過給式)工作循環計算的舉例	223
§ 30. 工作循環計算的方案.....	223
§ 31. 船用非過給式四衝程發動機工作循環計算的舉例.....	226
§ 32. 船用非過給式二衝程發動機工作循環計算的舉例.....	238
主要譯名對照表	

船用內燃機(理論)

第一章 船用內燃機的一般概念

§ 1. 船用內燃機的基本工作

內燃機是屬於這樣一種類型的熱機：其中燃料的燃燒直接在工作氣缸之內進行，放出了化學能，再轉變成為機械能。燃料中可燃部份同氣缸內空氣中的氧氣化合的結果，變成了氣態的燃燒產物，後者就是發動機內的工質。熱能之轉化成為機械能是這樣來實現的：將燃燒產物的膨脹能傳給發動機的活塞及連桿曲柄機構，最後再傳給曲軸。由於燃燒時氣體的最高溫度（近 $1800-2500^{\circ}\text{C}$ 絕對）及膨脹過程終點時氣體的最低溫度（近 $800-1000^{\circ}\text{C}$ 絕對）兩者之間的溫度差很大，工作循環的效率可以達到很高的數值。

燃燒過程所達到的高溫，並不是發動機可靠工作的障礙，因為燃燒過程的出現是週期性的，同時工作氣缸又用水加以冷卻。

這種在發動機之內利用化學能的方法，是最合理的一種，因為它可以不用任何中間工質（例如，蒸汽）。製造中間工質，需要有一系列的附加設備（鍋爐，凝汽器，蒸汽過熱器等等），此外，燃料化學能的一部份，還要受到不可免的損失。

現代內燃機，特別是燃料自行發火式發動機，從耗油量方面來講，是所有其他類型熱機中最經濟的。因此，它也就是最完善的一種熱機。

§ 2. 船用發動機的分類

船上裝用的內燃機，可以按照下列的基本特徵來分類。

(1)

1. 依照實現工作循環的方法①

a) 四衝程發動機(И)②, 其中活塞每走四個行程, 有一個工作循環;

б) 二衝程發動機(Д)②, 其中活塞每走兩個行程, 有一個工作循環。

2. 依照動作的方法:

a) 單動發動機, 其中工作循環僅僅是在工作氣缸上部的一個空間內完成的;

б) 雙動發動機, 其中工作循環是在工作氣缸的兩個空間內完成的: 上部(活塞上方)及下部(活塞下方)。現今所製造的船用雙動式發動機, 只有二衝程的(ДД)②;

в) 二衝程對向運動活塞式發動機, 它實際上等於兩個二衝程單動發動機共有一個燃燒室。

3. 依照將新鮮工質充入工作氣缸的方法:

a) 非過給式發動機, 其中, 工質或空氣的吸入, 是利用工作活塞本身(四衝程), 或者是用正常壓力的掃氣空氣, 將氣缸充滿(二衝程);

б) 過給式發動機, 其中工質或空氣, 是在增高了壓力的狀態下, 用特設的過給泵泵入氣缸(四衝程), 或者是用增高了壓力的空氣, 將氣缸進行掃氣(二衝程);

в) 部份過給式發動機, 其中, 大部份空氣仍依正常方式輸入氣缸, 僅有少部份空氣是在增高了壓力的狀態下輸入氣缸的。

4. 依照工質形成的方法:

a) 工質在外形成的發動機, 其中汽化的輕液體燃料同空氣, 或氣體燃料同空氣混合而成的可燃工質, 是在工作氣缸之外形成的——凡

① 所謂“工作循環”, 就是指一組有次序的, 在每個氣缸中週期重複進行着並決定着發動機工作的過程。

② 依照 ГОСТ 4393—48 規定的符號。

汽化器式及氣體燃料式發動機均屬於此類；

6) 工質在內形成的發動機，其中用高壓油泵將燃料射入工作氣缸內霧化，在氣缸之內形成工質——凡燃料自行發火式發動機，燒球式發動機，及直接噴射式輕油發動機，均屬於此類。

5. 依照所用燃料的種類：

1) 輕液體燃料發動機(汽油、苯、煤油、輕油、酒精及其他)；

6) 重液體燃料發動機(摩托油、索拉油、“狄色爾”油、瓦斯油等)；

B) 氣體燃料發動機(發生爐煤氣、天然煤氣、壓縮氣)；

r) 混合燃料發動機，這種發動機的工作，靠氣體及液體燃料的並用(氣體燃料為主，液體燃料為引火燃料)；

Д) 粉末狀燃料發動機。其中把粉末狀的固體燃料(煤)引入到形成工質的器官內。

6. 依照工質發火的方法：

a) 強制點火式發動機，其中可燃工質的發火是靠外面的來源(電火花)把它點燃的，——凡汽化器式及氣體燃料式發動機均屬於此類；

6) 燃料自行發火式發動機，其中在壓縮過程終點射入氣缸內的燃料，自行發火，——大部份的船用發動機均屬於此類；

B) 混合發火式發動機，其中燃料的發火，一方面是靠壓縮空氣高溫的作用(但是還不够引起自行發火)，另一方面又靠壓縮室壁的高熱作用，或者靠特設的引火器(“熱球”)，——凡所謂燒球式發動機均屬於此類；

r) 聯合發火式發動機，例如氣體液體燃料並用的發動機，其中可燃的氣體工質是利用液體引火燃料的自行發火來強制點燃的。

7. 依照工作循環的種類：

a) 燃燒在固定容積下進行的發動機，或稱定容燃燒式發動機($V = \text{常數}$)，——凡低壓縮的燃料強制發火式發動機(汽化器式、氣體燃料式)均屬於此類；

6) 燃燒在固定壓力下進行的發動機,或稱定壓燃燒式發動機($p = \text{常數}$)——凡高壓縮的,燃料用氣力(空氣)霧化式並自行發火式的發動機——凡所謂“壓縮機式狄色爾”(現今已經不造),均屬於此類;

б) 混合燃燒的發動機,其中燃燒的形態一部份是定容($V = \text{常數}$),一部份是定壓($p = \text{常數}$)——凡現代高壓縮的液體燃料直接噴射式並自行發火式的發動機(即所謂“無壓縮機式狄色爾”)均屬於此類;大部份的船用發動機均依照這種循環來工作。

8. 依照實際構造(基本特徵):

а) 箱式發動機,其中工作活塞的裙部起導面的作用,——大部份每氣缸 500—600 有效馬力以下的發動機屬於此類;

б) 滑塊式發動機,即所謂“十字頭式”(K),其中沿平行板滑動的滑塊起導面的作用——大部份每氣缸 500—600 有效馬力以上的船用低速發動機屬於此類;

в) 氣缸直列式發動機——大部份船用發動機屬於此類;

г) 氣缸橫列式發動機——在船用發動機中罕見;

д) 氣缸斜列式發動機——V型, W型, X型, 星型, 及其他——高速及輕型發動機;

е) 雙行氣缸並列式發動機(又稱雙行式或雙生式發動機),用齒輪傳動與推進軸相連——高速及輕型發動機;

ж) 對向運動活塞式發動機,有兩根曲軸同齒輪傳動相連,或者同一根由幾組(依氣缸數目而定)三曲柄曲軸組成的曲軸相連,曲軸通過連桿及橫桿連到上活塞;

з) 非反轉式發動機,它只有一個固定的迴轉方向,在應用非反轉式發動機作為主機的場合下,它必須附有反轉接合器(C);

и) 可反轉式發動機(P)——其中利用特設的反轉機構,改變正時,使迴轉方向改變;

к) 右型發動機(即所謂右機),它的迴轉方向與時鐘相同(從船尾