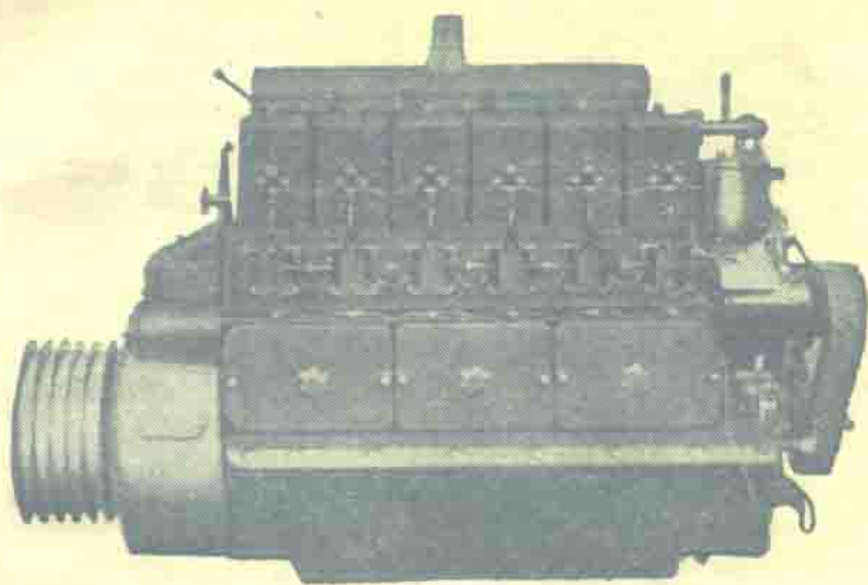




船用压燃式發動机性能

H.B.彼得羅夫斯基教授著

吳文彰 侯玉堂 王永良 合譯

林文進 王有槐

沈岳瑞校審

人民交通出版社

船用压燃式发动机性能

H.B.彼得羅夫斯基教授著

吳文彰 侯玉堂 王永良 合譯

林文進 王有槐

沈岳瑞校審

人民交通出版社

本書敘述船用压燃式发动机在試車台上、在航行时和 各种特殊情况下的工作理論。研究发动机轉数調整的情况。列举广泛的試驗資料來說明发动机性能对功率、經濟性和工作过程中参数的影响。

本書可供船舶界工程技术人员，以及从事于研究提高管理質量和改进內燃机輪船用动力裝置的設計師和科学工作人员之用。此外，对高等工业学校船舶机械系学生也可以适用。

統一書号:15044·8078-京

船用压燃式发动机性能

ПРОФ. Н. В. ПЕТРОВСКИЙ

РЕЖИМЫ РАБОТЫ

СУДОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

С ВОСПЛАМЕНЕНИЕМ ОТ СЖАТИЯ

ИЗДАТЕЛЬСТВО "МОРСКОЙ ТРАНСПОРТ"

МОСКВА 1953 ЛЕНИНГРАД

本書根据苏联海运出版社1953年莫斯科-列宁格勒俄文版本譯出

吳文革 侯玉堂 王永良 譯
林人進 王有槐
沈昌地 校

人民交通出版社出版

(北京安定門外和平里)

新華書店發行

公私合营慈成印刷工厂印刷

1956年11月北京第一版 1956年11月北京第一次印刷

開本:787×1092毫米 印張:5 1/2張

全書:129,000字 印數:1—1,600冊

定價(11):1.00元

(北京市書刊出版業營業許可証出字第〇〇六号)

目 錄

序.....	1
緒論.....	3

第一章 發動機的功率和經濟性

§ 1 功率、扭轉力矩和經濟性的方程式.....	5
§ 2 影響發動機功率和經濟性的因素.....	10
§ 3 幾種因素對發動機功率和經濟性的混合影響.....	19
§ 4 發動機每小時燃料消耗量、功率和扭轉力矩與噴油 泵柱塞行程的解析關係.....	20

第二章 試車台上發動機的運轉情況

§ 5 試車台上發動機的負荷-速度特性曲綫.....	22
§ 6 外特性曲綫.....	23
§ 7 部分特性曲綫.....	26
§ 8 發動機在外特性曲綫情況運轉時的應力.....	28
§ 9 外特性、部分特性和極限特性曲綫的繪製.....	35
§10 試車台上的推進器特性曲綫.....	37

第三章 船上運轉情況

§11 推進器吸收的旋轉力矩和功率。推進器的推力.....	41
§12 在各種 $\lambda\rho$ 值時的推進器特性曲綫	44
§13 推進器和發動機的工作配合	45

§14	繫岸時的工作	46
§15	推進器倒轉時發動機的工作	49
§16	船從原地開動和加速時發動機的工作	54
§17	雙推進器船轉彎時發動機的工作	57
§18	當船進入淺水航行時發動機的工作	58
§19	當拖曳載重船隻時發動機的工作	60
§20	在暴風雨氣候下發動機的工作	63
§21	在艏軸上裝有液力離合器時發動機的工作	66
§22	在船上測定推進器的特性	75

第四章 發動機啟動情況

§23	發動機軸在啟動時的運轉方程式	78
§24	啟動時加快發動機的延續時間	82
§25	保證發動機從用啟動空氣轉入到用燃料的最低轉數	83
§26	啟動示功圖的計算	85
§27	啟動發動機所需空氣量的計算	87
§28	發動機啟動時燃料的噴射和燃燒過程	89
§29	啟動情況對發動機工作汽缸套磨損的影響	97

第五章 低轉數情況

§30	發動機的最低穩定轉數	101
§31	發動機在低轉數時影響工作穩定性的因素	101
§32	發動機在低轉數下工作時的動力學	117

第六章 特殊的運轉情況

§33	發動機當汽缸停燃時的工作	123
§34	艏軸裝上聯動輔機時發動機的工作	134

§35	二衝程發動機當增高空氣吸入和廢氣排出的阻力時的工作	137
§36	具有排氣渦輪機增壓的四衝程發動機在不同負荷情況下的工作	151
§37	按照煤氣-液體燃料過程的發動機的工作	157

第七章 帶有自動轉數調節器的發動機的工作

§38	基本的負荷運轉情況	168
§39	裝置船用發動機自動轉數調節器所要求的條件	169
§40	發動機帶有調速器工作時的特性曲線	176
§41	煤氣-液體燃料發動機中引燃用燃料量的調節	180

序

對船隊的正确技術管理及在全部航行過程中對船隊的有效利用，是保證完成並超額完成國家海上運輸計劃的重要條件之一。

蘇聯共產黨和蘇聯政府經常密切關懷船舶技術的完善性，和推廣管理方面新的合理化建議。

第十九次黨代表大會關於提高海運工作質量的指示，應當成為船隊在進一步提高技術管理水平方面的主要工作。

只有對船用發動機在各種不同運轉情況下的工作指標有了明確的概念後，方能保證內燃機船舶正確的技術管理。

為了保證船用發動機工作的可靠性和經濟性，首先必需知道在各種指定運轉情況下發動機所能承受的負荷和燃料的消耗量。只有這樣，才能防止機件的過分磨損以免縮短船舶發動機的使用期限，也只有這樣，船上才能充分儲備燃料以達到最大的航程。

因而，無論是管理方面或設計方面的實際工作都需要這種資料，藉以評定工作過程中參數的變化，以及在各種不同運轉情況轉換時船用發動機的熱應力和機械應力的變化。

所以理論的系統化，以及有關船用發動機運轉情況的實驗和實踐資料的積累，在目前是迫切需要的。作者在研究這篇專論中即面臨着這樣的任務。

在本書中，作者首先盡力彙集和編寫在各種科學著作中所載的直接或間接與船用發動機性能有關的各種理論論文；其次

敘述船用發動機特殊運轉情況的理論和計算方法；最後指出與壓燃式發動機工作有關的許多實際問題的理論數據。

本書第一章敘述船用發動機工作過程的理論，這些理論對分析後面各章中的問題是必要的。

第二章研究船用壓燃式發動機在工廠試車台或試驗室試車台上的工作特性。列舉了發動機各種不同的負荷-速度特性。這些特性在以後各章中作為圖表的標準，來評定發動機在指定運轉情況下工作的負荷度和經濟性。

因此，第一章和第二章可作為本書中分析各種運轉情況的理論基礎。

在第三章、第四章和第五章中說明發動機在各種不同的船舶運轉情況下工作時的功率和工作過程參數的計算方法。

第六章中指出發動機在特殊船舶運轉情況下工作時功率的計算理論和方法（如停止一個汽缸的燃燒、拖動附加聯動機等）。

最後一章敘述在各種不同運轉情況下，自動調速器對發動機工作的影響。

在寫本書時作者盡力地提供了許多資料，這些資料對提高祖國內燃機輪動力裝置技術管理的質量將有所幫助。

本書首先適用於航運管理局工程技術人員之用。它應用船舶動力學來研究在各種不同的船舶運轉情況下與管理船舶動力裝置有關的問題。此外，本書也可作為製訂船用發動機試航程序的指南。

作者願乘此機會，向曾審查本書原稿並提供寶貴指示的書報評論者 И.Л. 巴蘭諾夫斯基工程師和 В.И. 康察葉夫工程師、編輯 Л.А. 伊凡諾夫工程師，以及 В.М. 拉夫聯捷葉夫、М.И. 柯爾察林、Н.И. 柯留金工程碩士的寶貴意見，表示衷心的感謝。

作者歡迎讀者對本書的批評意見，並希寄至出版社。

緒 論

船用發動機的運轉情況是指發動機進行工作過程中的各種條件而言。

船用發動機的運轉情況可用決定發動機工作過程以及船舶航行的各種參數表徵之：如發動機構造上的特徵；發動機所用燃料的種類；負荷和轉數的調節；負荷裝置的特點以及其他一系列的因素。

船用發動機工作情况可分成三類：試車台運轉情況、船上運轉情況和特殊運轉情況。

僅當發動機在工廠或實驗室試車台的條件下進行試驗時，發動機才按試車台運轉情況工作。這裏把發動機裝上測功器，在各種負荷和轉數下進行研究。試車台運轉情況一類中包括：外特性曲綫、部分特性曲綫和極限特性曲綫。

當船用運轉情況時，發動機在各種船舶航行速度和方向下轉動推進器。發動機的主要船用運轉情況計有：船舶加速情況，船舶低速、中速和全速的航行情況，啓動情況，逆轉情況，以及船舶轉向時的運轉情況。

由於海面狀態、淺水、船舶航行時水的阻力，都影響到推進器的推力（推進力）和旋轉力矩，因而也影響到與推進器聯接的發動機的負荷和工作過程，所以發動機在這些條件下的工作特徵就是在淺水情況下、船舶航行阻力增高的情況下（拖駁船時、破冰時等），以及與海面狀態有關情況下的工作。

特殊運轉情況可用各種特徵來決定：熱力的、構造的、燃

料種類以及其他。

這些情況不是船用發動機通常的運轉情況。它們可能是由各種原因引起的，例如由於發動機的噴油器具或運動機件突然發生某種故障而在航程中難以修復的情況下，則發動機必須停止某個汽缸燃燒而繼續工作。在這種情況下，產生了發動機特殊的工作條件，它表徵發動機以不全的汽缸數運轉的情況。

因此，發動機的特殊運轉情況計有：以不全的汽缸數工作；轉動推進器同時轉動供應船舶電力網的發電機的工作；進氣管或排氣管中阻力增加時的工作；按照煤氣-液體燃料的過程而工作。

在各種運轉情況下研究船用發動機的工作。需要特別注意轉數自動調速器的影響。

具有這種調速器，發動機的轉數更趨穩定，因而顯著地改善了發動機的使用品質和船舶的操縱品質。

第一章·發動機的功率和經濟性

§1 功率、扭轉力矩和經濟性的方程式

茲列舉各方程式，以指明工作過程中各種因素對功率、扭轉力矩和燃料消耗率的關係。

爲此，引用下列符號：

g_i ——指示燃料消耗率，公斤/指示馬力小時；

V_h ——發動機汽缸的工作容積，公尺³；

N_i, N_e ——發動機的指示功率和有效功率，馬力；

p_i, p_e ——平均指示壓力和平均有效壓力，公斤/公分²；

n ——發動機軸每分鐘的轉數，轉/分；

i ——發動機汽缸數目；

z ——衝程係數；對二衝程發動機 $z=1$ ，對四衝程發動機 $z=2$ ；

α ——燃料燃燒時的過量空氣係數；

L_0, L'_0 ——每公斤燃料燃燒時理論上所需的空氣量，公尺³/公斤，公斤/公斤；

γ_0 ——在周圍介質條件下的空氣密度，公斤/公尺³；

H_u ——液體燃料的低熱值，千卡/公斤；

η_v ——發動機汽缸的充氣係數；

η_i ——指示效率；

η_m ——機械效率。

根據史吉奇金，發動機用液體燃料工作時指示功率方程式

爲：

$$N_i = V_k i \frac{n}{z} \frac{60}{632} \frac{H_u}{\alpha L'_0} \eta_v \gamma_0 \eta_i \quad (1)$$

或

$$N_i = V_k i \frac{n}{z} \frac{60}{632} \frac{H_u}{\alpha L'_0} \eta_v \eta_{i0} \quad (2)$$

有效功率方程式是將公式 (1) 及 (2) 代入下列公式而得：

$$N_e = \eta_m N_i, \quad (3)$$

指示扭轉力矩和有效扭轉力矩方程式是將上述兩式代入下列公式而得：

$$M_i = 716 \frac{N_i}{n}$$

和

$$M_e = 716 \frac{N_e}{n}.$$

根據馬辛克，液體燃料指示消耗率的方程式是：

$$g_i = \frac{V_k \eta_v \gamma_0 \frac{n}{z} i 60}{\alpha L'_0} \frac{0.45 z}{p_i V_k n i} = \frac{27 \eta_v \gamma_0}{\alpha L'_0 p_i} \text{ 公斤/指示馬力小時;} \\ g_i = \frac{27 \eta_v}{\alpha L'_0 p_i} \text{ 公斤/指示馬力小時。} \quad (4)$$

有效燃料消耗率用下式表示：

$$g_e = \frac{g_i}{\eta_m} \text{ 公斤/有效馬力小時。} \quad (5)$$

因此，指示效率是：

$$\eta_i = \frac{632}{g_i H_u} \quad (6)$$

有效效率是：

$$\eta_e = \frac{632}{g_e H_u}$$

或

$$\eta_e = \eta_i \eta_{m_0}$$

按照煤氣-液體燃料（煤氣-柴油）過程工作的發動機，功率和經濟性的方程式是用另一種比較複雜的形式來表示。

現為求得這些方程式，引用下列符號：

V_u^* ——每小時煤氣（氣態燃料）消耗量，

公尺³(P_0/T_0)/小時；

B_u ——每小時引燃用液體燃料消耗量，公斤/小時；

L_u ——每小時空氣消耗量，公尺³(P_0/T_0)/小時；

H_u^* ——氣體燃料低熱值，千卡/公尺³；

$\eta_v^{c,u}$ ——混合劑的汽缸充氣係數， $\eta_v^{c,u} = \frac{G_a^{c,u}}{G_c^{c,u}}$ 。

這裏 $G_a^{c,u}$ ——在充氣過程終點時，汽缸中工作混合劑（煤氣+空氣）的重量；

$G_c^{c,u} = V_h \gamma_0^{c,u}$ ——在 P_0 和 T_0 情況下，也就是周圍介質條件下，佔 V_h 容積的工作混合劑的重量；

L_0^* ——每立方公尺（0/760）氣體燃料燃燒時理論上所需的空氣量，公尺³（0/760）/公尺³（0/760）。

每小時氣體燃料和空氣混合劑的消耗量等於：

$$V_u^{c,u} = (V_u^* + L_u) = V_h \eta_v^{c,u} i \frac{n}{z} 60 \text{ 公尺}^3(P_0/T_0)/\text{小時}。$$

氣體燃料和引燃用液體燃料燃燒時理論上所需的每小時空氣消耗量是：

$$L_{0_u} = (V_u^* L_0^* + B_u L_0) \text{ 公尺}^3(P_0/T_0)/\text{小時}。$$

在這雙重燃料（氣體燃料+液體燃料）燃燒時，總過量空氣係數是：

$$\alpha_o = \frac{V_u^{c.u} - V_u^z}{L_{0u}} = \frac{V_h \eta_v^{c.u} i \frac{n}{z} 60 - V_u^z}{V_u^z L_0^z + B_u L_0}。$$

因此，每小時氣體燃料消耗量是

$$V_u^z = \frac{V_h \eta_v^{c.u} i \frac{n}{z} 60 - \alpha_o B_u L_0}{1 + \alpha_o L_0^z} \text{ 公尺}^3(P_0/T_0)/\text{小時}。 \quad (7)$$

現求 V_u^z 的另一種方程式。

由於每小時的熱消耗量等於：

$$Q_u = V_u^z H_u^z + B_u H_u = \frac{632 \times N_i}{\eta_i}, \quad (8)$$

所以每小時的氣體燃料消耗量為：

$$V_u^z = \frac{632 N_i}{\eta_i H_u^z} - B_u \frac{H_u}{H_u^z} \text{ 公尺}^3(P_0/T_0)/\text{小時}。 \quad (9)$$

使公式（9）和（7）相等：

$$\frac{632 N_i}{\eta_i H_u^z} - B_u \frac{H_u}{H_u^z} = \frac{V_h \eta_v^{c.u} i \frac{n}{z} 60 - \alpha_o B_u L_0}{1 + \alpha_o L_0^z},$$

得出發動機按照煤氣-液體燃料過程工作的指示功率方程式：

$$N_i = \left[\frac{V_h \eta_v^{c.u} i \frac{n}{z} 60 - \alpha_o B_u L_0}{1 + \alpha_o L_0^z} + B_u \frac{H_u}{H_u^z} \right] \frac{H_u^z \eta_i}{632}。 \quad (10)$$

有效功率按下列公式求得：

$$N_e = N_i \eta_{m.o.}$$

從方程式(8)可得煤氣-液體燃料發動機的指示效率等於：

$$\eta_i = \frac{632 N_i}{V_u^e H_u^e + B_u H_u} = \frac{632}{v_i H_u^e + g_i H_u}, \quad (11)$$

式中

$$v_i = \frac{V_u^e}{N_i} \text{公尺}^3 (P_0/T_0) / \text{指示馬力小時}$$

和

$$g_i = \frac{B_u}{N_i} \text{公斤} / \text{指示馬力小時}$$

相當於氣體燃料和引燃用液體燃料的指示消耗率。

現求煤氣-液體燃料發動機在兩種極端工作情況下的功率和經濟性的方程式，即指當單獨使用氣體燃料工作或單獨使用液體燃料工作時。

對單獨使用氣體燃料的發動機 $B_u = 0$ ，因為沒有引燃用液體燃料的消耗量。因此在這種情況下，指示功率的方程式(10)成爲

$$N_i = \frac{V_{hi} \frac{n}{z} 60}{632} \times \frac{H_u^e}{1 + \alpha L_0^e} \eta_v^{f, M} \eta_i. \quad (12)$$

由於氣體燃料的指示消耗率等於

$$v_i = \frac{V_u^e}{N_i},$$

則從公式(7)中所得每小時氣體燃料消耗量的方程式

$$V_u^e = \frac{V_h \eta_v^{c, M} \frac{n}{z} 60}{1 + \alpha_0 L_0^e},$$

以及指示功率的方程式

$$N_i = \frac{V_h n i p_i}{0.45z},$$

即得氣體燃料發動機的氣體燃料指示消耗率

$$v_i = \frac{27\eta_v^{\frac{1}{n}}}{(1 + \alpha_c L_0^{\frac{1}{n}}) p_i} \text{ 公尺}^3 (P_0/T_0) / \text{指示馬力小時}$$

對單獨使用液體燃料的發動機 $V_a = 0$ ，因為沒有氣體燃料的消耗量。因此，指示功率方程式 (10) 成為公式 (2)，但是液體燃料的指示消耗率是由公式 (4) 來決定。

§2 影響發動機功率和經濟性的因素

如公式 (2)、(10) 和 (12) 所示，發動機功率是與一系列的數值有關的。這些數值表明發動機的構造形式、工作循環、速度和所使用燃料的熱化學特性。

對指定的發動機，在任何工作情況下 V_h 、 i 、 H_u 、 L_0 和 z 的數值是不變的。

η_v 、 η_i 、 α 和 n 的數值是隨發動機的工作情況而變，就是說這些數值，在指定工作運轉情況下，是決定發動機功率和經濟性的主要因素。所以爲了了解上述數值和發動機運轉情況的互相關係，就要研究這些數值的變化特性。

充氣係數 發動機汽缸的充氣係數，是指在充氣時進入汽缸直至開始壓縮始點時留存在汽缸中的空氣重量 G_e ，和假定空氣在壓力 P_0 和溫度 T_0 （週圍介質條件下）時，佔汽缸工作容積 V_h 所應有的重量 G_0 的比率，即

$$\eta_v = \frac{G_e}{G_0}.$$

爲了指出影響充氣係數的因素，也就是影響發動機功率和

經濟性的因素，我們來研究充氣係數的方程式。

四衝程和二衝程發動機充氣係數的第一式是：

$$\eta_v = \frac{\epsilon}{\epsilon - 1} \times \frac{p_a}{p_0 \frac{T_a}{T_0}} \times \frac{1}{1 + r_r}, \quad (13)$$

式中：

p_a, T_a ——充氣(空氣和殘餘廢氣)在壓縮始點的壓力和溫度；

ϵ ——壓縮比；

r_r ——殘餘廢氣係數。

在公式(13)中，代入充氣溫度 T_a 的熟知關係式

$$T_a = \frac{T_0 + \Delta t + r_r T_r}{1 + r_r},$$

則得四衝程和二衝程發動機充氣係數的第二式

$$\eta_v = \frac{\epsilon}{\epsilon - 1} \times \frac{p_a T_0}{p_0 (T_0 + \Delta t + r_r T_r)}. \quad (14)$$

式中：

Δt ——在充氣過程中由於汽缸壁的加熱，空氣所增高的溫度；

T_r ——殘餘廢氣的溫度。

現列出殘餘廢氣的方程式

$$r_r = \frac{G_r}{G_e} = \frac{G_r}{\eta_v G_0} = \frac{\frac{p_r V_c}{R_r T_r}}{\frac{p_0 V_h}{R_0 T_0} \eta_v} = \frac{p_r \times T_0}{p_0 \eta_v (\epsilon - 1) T_r}. \quad (15)$$

此處使 $R_r = R_0$ 。

以公式(15)代入公式(14)，即得四衝程和二衝程發動機充氣係數的第三式