

學機動原用船

Lawrence B. Chapman 原著

曾廣壽 譯



大東書局印行

學機動原用船

著 者 原

LAWRENCE B. CHAPMAN

譯 者

曾 廣 壽



大東書局印行

原書名：The Marine Power Plant
原著者：Lawrence B. Chapman
原出版者：McGraw-Hill Book Company, Inc.
New York and London
1942年二版

書號：5038

一九五一年七月初版
(1—3009)

船用原動機學

定價：43,000元

版權所有
不准翻印

原著者 Lawrence B. Chapman

譯者 曾 廣 壽

出版發行者 大 東 書 局

上海福州路310號

印刷者 大東書局上海印刷廠

上海安慶路268弄



譯 者 序

我國幅員廣大，海岸線甚長，境內四大河橫貫東西，在航運方面，前途未可限量，故造船事業，當為新民主主義中國在建設中之一大要務，而造船人材之造就，尤為當務之急。本書為美國麻省理工大學航業管理系及輪機工程系教授 *Lawrence. B. Chaymann* 所著，敘述清晰，內容新穎，關於基本原理方面，闡述至詳，並舉例證，切實扼要，為輪機工程方面之良好啓蒙課本，宜作為職業學校或輪機、造船工程及航業管理系二年級之教材，爰將譯出，以利教育。

本書作者，雖為美國教授，但在選擇材料方面，所舉實例方面，包括英美德日以及歐洲若干國家之船隻，範圍相當廣泛，其中固以美船之例子為多，但柴油機船以德船為主，蒸汽機及透平機船，則以英美船為主，可稱中肯，無其他書本誇大褒貶之弊。就燃料一章中論及燃料時，悉以美國為背景，與我國國情，未能盡合，譯者本保存原書全貌之旨，故完全照譯，將本書用作課本時，自應按照我國實際情形，酌加補充材料，以免脫節之病，但讀此一章，吾人對於燃料之選擇，仍能得到明確之概念。

目前世界上民主陣容，一致團結，與反動勢力鬥爭，首先必須打倒美帝，讀此書時，使吾人對於美帝之造船事業，有相當認識，當思如何急起直追，迎頭趕上，取其長而補其短，在航海事業與保衛海岸方面，予以迎頭痛擊焉。

譯者學識簡陋，書中或有錯誤，尚祈海內同志，賜予指正為幸。

譯者識 一九五一年五月二日。

第一版原序

本書之目的，在於向學生介紹船用原動機之熱力學以及船隻推進方面所用之各種原動設備，並使學生對於各種輔助機械之佈置及作用方面，獲一明確之概念。

本書並非一詳盡之著作，而為輪機工程學之初階課本，在李海大學 (Lehigh University) 內，於學習本書所包括之船用原動機學之前，先學習一門熱力學；此後在船上實習一個夏天，然後詳盡地分別學習船用蒸汽機透平機及提塞爾引擎。

本書着重原動機在熱力學及經濟方面之特點。本書對於機械方面之詳細構造，並不注重，而純粹實體方面之敘述，亦已儘量減少。詳細構造應在船上實際情況下學習之，其結果必較依靠書本上不充分之論述為佳。

本書內附有簡短之熱力學一章，使學習工程之學生，有一覆習機會，對於其他人士，則作為閱讀本書時之基本參考。在第十九章內，有一典型原動設備鍋爐及輔助機械之計算全文，將此種計算程序付諸印刷，尚屬創見。

本書之特點在於現代各種船用原動設備之比較方面——將七種船用推進原動機作一公正的比較，並將其結果列成一表。

本書寫作之初，所取對象為學習造船工程、輪機工程及船舶管理之學生，但上船之輪機人員及船隻業主，亦可藉本書而對於現代所用之各種推進原動機及其輔助機構，得到進一步的了解。

L. B. Chapman

賓省伯城

一九二二年，六月

第二版原序

自從“船用原動機學”(The Marine Power Plant)之第一版在廿年前寫完以後，輪機工程在經濟方面之許多改進和轉變，使本書內容有完全重寫之必要，並須引用一套完全新穎之附圖。寫作本書之計劃與目的，仍如第一版原序內所述，在於使本書作為輪機工程學之初階課本。故討論不擬詳盡，而着重於基本原理及熱力學與經濟性方面之特點，其實體及細節之敘述，以能闡明所提到之原理為度。

本書第二版較第一版更注重燃料油、燃燒現象、齒輪傳動式透平機及饋水系統方面。對於各種新式船用原動設備，大多已經提到，但有時頗為簡短而已。提塞爾引擎所佔篇幅，已大見增加，而最後一章之原動設備計算法，則為完全新加之材料，所採用之數字，均與現代之實際情形相符合。

在寫作本書時，對於上船之輪機人員，及陸上之工作人員均已顧到，同時亦顧到學習輪機工程、造船工程、及航業管理之學生。希望本書對於上列讀者，有所補益。

本書所述，大部份雖為美國之實際經驗，但許多參考資料及若干附圖，均述及其他國家之船用原動機，尤以屬於英國者為多。

作者必須感謝麻省理工大學之教職員同事。渠等於作者準備本書文稿時，曾慨予協助。下列各位均曾閱讀文稿之各部份，並曾賜予有價值之意見：Joseph H. Keenen, Hoyt C. Hottel, James R. Jack, Frank M. Lewis, Henry H. W. Keith, Clifford E. Lansil, Evers Burtner, Carl L. Svenson, Theodore H. Taft 諸教授及美國海軍少校 Charles S. Joyce (已退休)。作者對於其以往之學生，聯邦造船及船塢公司之技術工程師 A. S. Thaeler 君，尤其欣予謝忱。彼曾閱讀文

稿之一部份，并曾提供改進之意見。

麻省理工學院造船系主任 *Evers Burtner* 教授，在作者修改齒輪傳動式透平機之一章時，賜助良多，特別值得感謝。在寫作該章時，大部份材料均為 *Burtner* 教授所準備，並與作者合作焉。

Lawrence B. Chapman

麻省，康城

一九四二年，四月

目 錄

譯者序

第一版原序

第二版原序

第一章 引言	1
第二章 燃料	25
第三章 船用鍋爐	40
第四章 燃燒	81
第五章 蒸汽機	110
第六章 齒輪傳動式透平機	138
第七章 電力傳動式透平機	204
第八章 提塞爾引擎	216
第九章 各種推進原動設備之比較	270
第十章 冷凝器及冷凝器之輔助機械	289
第十一章 饋水加溫及饋水系統	320
第十二章 原動設備之佈置	346
第十三章 一商船原動設備之計算	358
附錄 英漢名詞對照表	

第一章

引言

1. 推進機械之型式：

在一九〇六年時，用以推進商船之機械設備，均為蒸汽機及司各區式鍋爐，煤則為普遍採用之燃料。當時所用之鍋爐壓力，約在每平方吋 200 磅左右，而過熱法則尚無使用者。燃料消耗量就每一匹指示馬力而言，每小時在 1.5 至 2.0 磅之間。卅五年後，在一九四一年時，船用機械工程，在經濟方面已有根本上之改進。許多新式推進機械已被採用。世界上大部商船，雖仍用蒸汽機及司各區式鍋爐推進，但新造船隻中裝用此種機械設備者，已極稀少。油類之使用，已超過用煤。採用 450 磅左右之鍋爐壓力，及 $760^{\circ}F$ 之蒸汽始點溫度，已為普通之事。一九三九年，美國航業協會之雷特爵克號，在正式試航時所得燃料消耗量之記錄，為每匹推進器馬力每小時用油 0.545 磅（油類所含熱量為每磅 18000 Btu）。

今日新造汽輪，多用齒輪傳動式透平機推動，由水管式鍋爐供應其所需蒸汽。除齒輪傳動式透平機外，吾人可用以推動船隻之機械，尚有直接傳動式柴油機、齒輪傳動式柴油機、電力傳動式柴油機、電力傳動式透平機、改良蒸汽機，以及附裝廢汽透平機之蒸汽機。

推動船隻之機械，既有如此繁多之種類可用，則造船機械工程師及船隻之業主，在決定選用何種機械為合適之問題時，較之卅五年前，自

屬有趣而困難矣。上述各種型式，均將於下文詳述之，並將每一種型式之利弊，加以討論焉。

2. 陸用裝置及船用裝置之比較：

設計船用原動機所遭遇到之問題，遠較設計陸用原動機時為困難。在許多關於效率、經濟，及費用方面之問題上，一船用機械工程師及陸用機械工程師所遇到之困難，大致相同。因用於船上及用於陸上之原動機，固極類似也。但船用機械工程師有重量及空間之顧慮，而陸用機械工程師則無之。

高速船隻，如郵船及軍艦等，欲減小阻力，其空載排水量必須儘可能低小，故其原動機每匹馬力所佔之重量須小。如採用蒸汽機，則其減少本身重量之方法，即為增加轉速，但轉速高時，推進器之效率不佳。而在一定航速下，欲船隻以儘可能低小之馬力航行，推進器必須具有良好之效率。因之，設計者在開始時，即可能遇到兩個互相衝突之條件。

今日船運貨物，多有以所佔艙位計算者。欲增加貨艙之容積，則機艙所佔長度，應愈小愈好。故就貨輪而言，如何使機艙狹小之問題，較之如何得到一輕巧機械之問題，更為重要也。在若干航業中，貨物以重量計算，而不以體積計算，則必須注重機械重量之問題矣。就貨輪而言，若其速度與長度之比值 ($V/\sqrt{L}$) 不甚高大時，機械重量問題，並不十分重要。若就郵船或軍艦而言，其重要性則甚大也。

蒸汽及燃料消耗量，就經濟觀點而言，無論在船用或陸用原動機上，均以微小為宜。但船用機械工程師之所以欲維持一低微之燃料消耗量者，除欲減少燃料費用外，尚有其他原因。船用原動機之燃料消耗量減小時，即可減小燃料所佔之艙位及重量，因之即可減小空載排水量。在一定滿載排水量之下，即可增加載貨之空間與噸位，而使船隻多裝貨

物。如原動機之蒸汽消耗量可設法減小，則鍋爐、主引擎、各種管子及輔助機械之尺寸，均可減小，其所佔重量與空間，均因而減小矣。設計高速船隻之原動機時，自較設計低速貨輪之原動機時，多費週張；但在若干特點上，例如在經濟方面，推進器轉速之大小方面，以及所佔空間方面，於設計後者時，必須慎重考慮。

為求滿足燃料消耗量低小，機械本身輕巧，及推進器轉速低小等要求起見，遂使吾人引用高度蒸汽壓力及溫度，並應用水管式鍋爐、齒輪傳動式透平機、齒輪傳動式柴油機，以及電力傳動之方法。柴油機之裝置費用雖較蒸汽原動機為高，但因其燃料消耗量低，許多商船均用以推進矣。

目前所用各種原動機之平均燃料消耗量及重量，如下表所列：

表 1.

	鍋爐壓力 每平方吋 磅數	真空率 吋	推進器 轉數	每匹馬力所 佔全部機械 重量之磅數	每匹推進器馬 力每小時所用 燃料磅數
蒸汽機、司各區式鍋爐 燃煤、用飽和蒸汽	200-250	25-27	75-85	500	1.95
蒸汽機、司各區式鍋爐 燃油、用飽和蒸汽	200-250	25-27	75-85	500	1.2
齒輪傳動式透平機、水管式鍋 爐、燃油、 $t_1 = 750^\circ F$	450	28½	90	200-300	0.60
齒輪傳動式透平機、超速式鍋 爐、燃油、 $t_1 = 750^\circ F$ (海軍 紀錄)	450-600	28	350-450	40	0.65
柴油機			90	500-600	0.38
齒輪傳動式柴油機			90	300-400	0.38

表中所列關於重量之數字，除蒸汽機外，均就推進器馬力計算，至於蒸汽機之重量，則就指示馬力計算。

3. 蒸汽原動機之基本原則：

船用蒸汽原動機，均為冷凝式，因必須利用冷凝後之蒸汽作為鍋爐饋水也。航海船隻，採用表面冷凝式冷凝器；而航行於淡水中之船隻，則採用噴射式冷凝器，如航行於北美各大湖內之船隻是也。

圖 1 為一簡單原動設備之簡圖，蒸汽在鍋爐中產生，吸取燃料內之熱量，於離開鍋爐時，蒸汽內所包含之內熱，為每磅 h_{g1} ，經阻塞汽門進入蒸汽機或透平機內；在引擎內化去蒸汽所包含之熱量，而完成機械工作。蒸汽在原動機內膨脹後，其剩餘熱量，則移交冷凝器；於此，蒸汽之汽化熱 $x_2 h_{fg2}$ ，為循環於冷凝器中之冷水所吸收，而排於船外；已冷凝之

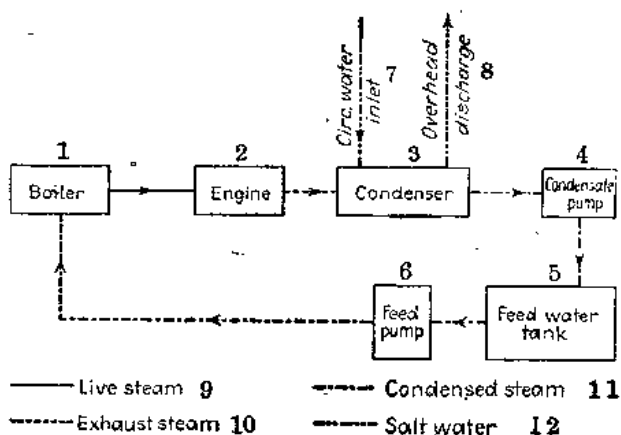
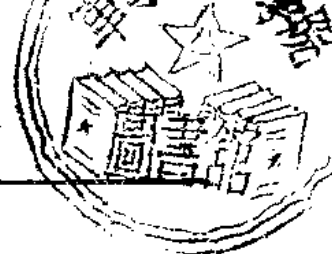


圖 1 基本原動機簡圖 為簡明起見，許多必要之輔助機械均未輸入。

1. 鍋爐 2. 引擎 3. 冷凝器 4. 冷凝水泵 5. 淡水水箱 6. 饋水泵浦
7. 循環冷却水進口 8. 循環冷却水出口 9. 新鮮蒸汽 10. 廢汽 11. 冷
凝蒸汽 12. 海水

蒸汽由空氣或冷凝水泵，自冷凝器抽出，送入饋水水箱內，此時，水內所含內熱，為液體熱 h_{f2} ；鍋爐饋水泵浦，將集於饋水水箱內之饋水，在壓



力下注入鍋爐。

採用冷凝器之目的有二，因其能撙節冷凝後之蒸汽，使再用於鍋爐內，同時可以減低廢汽溫度也。終點溫度較低時，蒸汽在原動機內可以充分膨脹，其所含熱量之轉變為機械工作者，遂較衆多矣。

118圖為一般用原動機之完備簡圖，顯示各種輔助機械及饋水加溫器等，其輔助機械，均用蒸汽推動。128、130及141圖所示之原動機，為採用電力推動之輔助機械，而其饋水加溫所需之蒸汽，則為自透平機內引出者。

4. 原動機之總效率：

引用效率之基本公式 $\frac{\text{輸出之功}}{\text{輸入之功}}$ ，並以 *Btu* 及馬力時為單位可得原動機總效率之公式如下：

$$\frac{2.545}{f \times \text{燃料之熱率}}$$

式中，*f* 為每匹推進器馬力每小時之燃料消耗量。

如吾人引用前表所列之平均燃料消耗量，並假定煤之熱率為每磅 14,300 *Btu*，燃料油之熱率為每磅 18,500 *Btu*，則得各種原動機之總效率為：

1. 蒸汽機燃煤時 $\frac{2.545}{1.96 \times 14,300} = \text{百分之 } 9.1$
2. 齒輪傳動式透平機燃油時 $\frac{2.545}{0.60 \times 18,500} = \text{百分之 } 23$
3. 柴油機 $\frac{2.545}{0.38 \times 18,500} = \text{百分之 } 36.2$

由於上列數字，可見每匹推進器馬力每小時所用燃料之熱率中，轉變為有用機械工作者之百分數，甚為低小也。在採用蒸汽之設備中，百分之 77 及 99% 之可用熱量，遭受損失；而在柴油機中，此項損失大為減

少，僅為百分之64%矣。在下列數章內，將討論此種損耗，並研究如何增加原動機總效率，藉以減小燃料消耗量之方法。

5. 熱量之支配情形：

在第四節內所舉之三種原動機裝置內，其熱量之支配情形約如下表：

1. 蒸汽機、司各區式鍋爐、蒸汽推動式輔助機械、燃煤($f=1.96$)：

	每匹推進器馬力每小時所用 Btu	百分數
1. 有效工作	2,545	9.1
2. 鍋爐損耗	8,960	32.0
3. 因消除機械摩擦力而作之功(主引擎)	255	0.9
4. 輔助機械所作之功及船上雜用	175	0.6
5. 排入主冷凝器內之熱量	15,100	54.0
6. 管子線路內之損耗，輔助冷凝器損耗 放射漏熱等損耗	965	3.4
每匹推進器馬力每小時所用燃料之熱率 $=14300 \times 1.96$	28,000	100

2. 齒輪傳動式透平機、水管式鍋爐、燃油；電力推動式輔助機械； 自透平機抽取蒸汽以為饋水加溫之用($f=0.60$)

	每匹推進器馬力每小時所用 Btu	百分數
1. 有效工作	2,545	23.0
2. 鍋爐損耗	1,432	13.0
3. 因消除機械摩擦力而作之功(傳動齒輪及軸承)	105	0.9
4. 輔助機械所作之功及船上雜用	135	1.2
5. 排入主冷凝器及輔助冷凝器之熱量	6,615	59.5
6. 漏熱，放射損耗及加溫用熱量	268	2.4
每匹推進器馬力每小時所用燃料之熱率 $18,500 \times 0.60$	11,100	100

3. 柴油機裝置 ($f=0.38$).

	每匹推進器馬力每小時所用 Btu	百分數
1. 有效工作	2,545	35.4
2. 主引擎廢氣帶走之熱量	2,100	29.2
3. 主引擎冷却水所帶走之熱量	2,190	30.4
4. 輔助發電設備之工作及損耗	185	2.5
5. 放射及其他損耗	180	2.5
每匹推進器馬力每小時所用燃料之熱率 $18,500 \times 0.38$	7,240	100.0

機械摩擦力之損耗及由引擎帶動之輔助機械所用之能量均未另開項

目，因已將其包括於第三第二項及放射損耗內矣。

6. 蒸汽之產生：

茲假定開始學習船用機械工程之學生，已學過蒸汽原動機，及內燃機之熱力學，並已熟諳蒸汽圖表之用法，下文僅為一簡括復習，並期其對於未悉蒸汽圖表用法之學生，有所補益焉。

蒸汽表內列入飽和液體，飽和蒸汽，及過熱蒸汽之各種特性數字。本書內解決問題時，常常應用蒸汽表內所列水及蒸汽之特性數字，而所取數值，均根據 Keenan 及 Keyes 所著“蒸汽之熱力學特性”(Thermodynamic Properties of Steam)一書。水及蒸汽之特性中，時常提及者，為壓力、溫度、及內熱，內熱多以一磅液體，或蒸汽所包含之其熱單位表示之；為其所含內能，加以絕對壓力與單位體積之乘積，以往多稱之為熱容量，或總熱量。

蒸汽表內列入各種壓力下飽和液體所含之內熱 h_{f1} ，汽化熱 h_{fg1} ，飽和蒸汽所含之內熱 h_{g1} ，及各種過熱度下之蒸汽所含內熱 h 。蒸汽表係根據 $32^\circ F$ 時，飽和液體所含內熱而出發者，意即假定 $32^\circ F$ 時，飽和液體

所含之內熱爲零。

工程上所用之蒸汽，多以純潔之水，在鍋爐內由燃燒煤或油而產生之。饋水用幫浦打入鍋爐時，其溫度高於 32°F ，其所含內熱，即爲在饋水溫度下，液體應含之內熱 h_{feed} 。鍋爐在不斷使用之情況下，其壓力保持不變，是即預先決定之鍋爐壓力也。水在鍋爐內吸取因燃料燃燒而發生之熱量，其內熱逐漸增加，自饋水溫度下應有之數值，增加至在鍋爐壓力下應有之飽和液體內熱 h_{fi} ，故液體內熱之增加量，爲 $h_{fi} - h_{feed}$ 。此時，如繼續加以熱量，則因水已達其沸點，遂開始在不變之壓力下沸騰，而生成蒸汽。自水變爲蒸汽之一段時間內，其吸取之熱量，即爲汽化熱 h_{fgi} 。如水沸騰甚烈，或沸騰之情況發生於一封閉之空間內，則有一小部份水滴，被拋入空中而存在於蒸汽中，其數量約爲百分之一或百分之二。如每磅水中，均有百分之二之水滴，隨逸出之汽泡拋於空中，則此百分之二之水份，未曾吸取汽化熱 h_{fgi} ，其所含熱量，僅爲液體內熱 h_{fi} 而已。故每磅水中吸取之熱量，遂爲 $0.98 h_{fgi}$ ，故汽化熱可以 $x_1 h_{fgi}$ 表示之。其中 x_1 爲確實變爲蒸汽之水份百分數， x 即稱爲蒸汽之純度。當蒸汽內有濕氣存在時，吾人稱之爲濕蒸汽，如每磅水業已全部化爲蒸汽，則其純度爲百分之百，此種蒸汽，即稱爲乾蒸汽或飽和蒸汽。在各種計算中，蒸汽之單位爲磅，蒸汽表中所列之數值，即爲每磅液體或蒸汽，在超過 32°F 飽和液體之情況時，所含之 Btu 數。

如將乾蒸汽自鍋爐引出，再在一無液體存在之加熱器內加熱，則蒸汽繼續吸取熱量，其溫度即升高並超過與壓力相應之飽和蒸汽溫度。在某一定壓力之下，如蒸汽溫度超過其在該壓力下應有之飽和蒸汽溫度，則其超出數量，即稱爲過熱度。根據蒸汽表，在壓力爲每平方吋 300 磅時，飽和蒸汽溫度應爲 413.33°F ，如此，一蒸汽在過熱器內加熱至 617.33°F ，則吾人謂該蒸汽之過熱度爲 200 度。

7. 熵值：

在解決許多蒸汽工程之問題中，熵值爲一極有用之蒸汽特性，吾人應用此一特性時，多限於討論熵值之改變，而不討論其絕對數值，其用法與內熱之用法相同，熵值改變之定義如下：

$$dS = \left(\frac{dQ}{T} \right)_{\text{可逆的}}$$

式中 dQ = 工作系統內所接受之熱量；

T = 熵值改變時之絕對溫度。

故熵值之一般定義遂爲：

$$S_2 - S_1 = \int \left(\frac{dQ}{T} \right)_{\text{可逆的}}$$

如上所述，吾人於研究熵值時，多引用熵值之改變，但在習慣上，吾人時常談及各種情況下液體或蒸汽之熵值爲若干，其意義即爲液體或蒸汽，在超過 $32^\circ F$ 飽和液體情況時，其熵值之改變也。

氣體或蒸汽之絕熱變化，爲一種在絕緣條件下之狀況改變，在此改變過程中，既無熱量輸出，亦無熱量輸入，故在一可逆式絕熱變化中， $dQ=0$ 。根據熵值改變之定義，遂得：

$$S_2 - S_1 = 0$$

故吾人可曰：在一可逆式絕熱變化中，（膨脹過程或壓縮過程）概無熵值改變發生，此種變化，亦可稱爲等熵變化。

在初學時，對於熵值如欲得較可捉摸之意義，可設想熵值爲蒸汽特性之一，此特性在可逆式絕熱膨脹過程中，爲保持不變者，一若溫度在恆溫膨脹過程中，爲不變者然。此固非熵值之真實與完備之定義，但對於初學熱力學者，頗有幫助瞭解之作用。欲確實了解熵值之意義，並熟悉其用法，唯有多做運用熵值之習題耳。