

科技用書

重柴油機實務

樓無畏著

海洋學院輪機系畢業
招商局修船廠廠長
驗船師特考及格

前程出版社

工業技術用書

重柴油機實務

編著者：樓 無 畏

海洋學院輪機系畢業
招商局修船廠廠長
驗船師特考及格

前程出版社

自序

編者服務商船輪機界多年，實際參與機艙工作，新船監工及船舶檢修等事務，深感輪機設備，內容廣泛、日益更新，而輪機修護工程，技術遂漸改進，但主副機的意外事件，却層出不窮，使船東遭受甚大損失。而能源危機發生後，使輪機人員的責任直接加重，如何能使輪機有效運用、提高效率、降低成本，並減少故障，萬一故障發生時，如何應變處理，使損失降低至最低程度，實為當務之急。

輪機人員的職責，着重於技術性之管理、操作、運用和修護，這需要豐富的學驗，優良的技術和精確的判斷。而深入瞭解引擎之性能，自為基本所在。坊間介紹柴油機書籍雖多，唯多偏重理論，有欠船上實用。編者受同仁之鼓勵，不揣冒昧，收集有關經驗和實用資料，編印付梓，內容力求淺顯實用，書中術語，以通俗為主。因本書利用公餘寫成，旨在拋磚引玉，尚祈先進不吝指正。

本書參攷資料除參照有關技術內規和文件外，並包括下列說明書和文獻。

1. Service Instructions for sulzer diesel engines (Type RD, RND, RND-M)
2. Maintenance and operation manual for M.A.N. KZ & Gv. Types.
3. Instruction Book for Operation of Burmeister & Wain engines (Type K.....F).
4. Sulzer " Technical information diesel Bulletin."
5. The Operation of marine diesel engines Burning heavy fuel.
6. 新版ディーゼル機關の實際 (山根幸造著)
7. シリダライナの磨耗とC重油、潤滑油 (山根幸造著)
8. 過給ディーゼル機關 (山根幸造著)
9. 大形ディーゼル主機關の事故と對策 (日本船舶機關士協會技術委員會) 和船舶檢查要覽。
10. 船用機關データ・グック (船用機關研究グループ)
11. 機關議裝 (第二，七，八，九卷) (日本造船學會)
12. 1H1-BBC VTR形過給機技術講義
13. 各種技術規範 (CR, ABS, JIS) 及 Motor ship, Marine Engineering / Log 等雜誌。

再版自序

「重柴油機實務」於67年秋出書以來，由於實用性高，承蒙同業，先輩時賜教言，復蒙輪機界同仁愛顧，實由衷感激，因限於篇幅，敘述時常有顧此失彼之憾，為彌補此一缺失，於今年另出版「船舶輪機實務」，請凡輪機同仁獵涉之主副機事項，多予收羅，以便與本書互相印證，對於各機器之操作、維修、構造、檢驗及運用均予兼顧，輪機同仁若能兼備此兩書，當能相得益彰，有所裨益。

「重柴油機實務」一書，現已售罄，此次再版，已將內中痕疵更正，敘述欠明處亦予補正，尚祈先輩不吝賜教斧正。

學海無涯，輪機工程，日新月異，新機輩出。尤其石油危機持續聲中，輪機界遭受甚大之衝激和壓力，如何保養維修，安全操作運用，達到經濟迅速之目的，當為實務之急，亦為此二書之目的。

編者謹識 於高雄

目次

自序

第一章 緒論	1 ~ 13
--------	--------

第二章 柴油機概說	14 ~ 31
-----------	---------

一 原動機分類	14
二 各原動機在經濟上之比較	14
三 柴油機之分類	15
四 熱效率之推定	15
五 柴油機燃油和潤滑油之消耗率	16
六 壓縮比、壓縮壓力、壓縮溫度	17
七 柴油機之特徵	20
八 主機軸系之換振動和縱振動	20
九 軸系	28

第三章 重柴油主機各系統	32 ~ 129
--------------	----------

第一節 燃油系統	32
一 重柴油之性質	32
二 燃油管路系統	37
三 “A”油換“C”油時之加溫和切換順序	39
四 “C”油切換為“A”油之過程	40
五 燃油之管理和處理	41
六 燃用“C”油時，必須注意之事項	52
第二節 滑油系統	54
一 滑油之一般性質	54
二 滑油之劣化	57
三 滑油化驗及換油標準	58
四 滑油使用和淨化處理	59
五 滑油管路系統	61
六 滑油消耗量	64

七	氣缸油種種	64
八	強酸試驗和處理	70
九	常用滑油表	73
第三節	冷卻系統	76
一	冷卻系統之目的和添加劑的應用	76
二	防蝕乳化油 1535 G 之應用和處理	82
三	冷卻系統之清洗	84
四	管路系統	85
五	冷卻水系統之注意事項	85
六	各型主機冷卻系統壓力、溫度、和其他	89
第四節	排氣透平增壓機各系統	91
一	排氣增壓機簡叙和冷卻，滑油系統注意事項	91
二	軸承定期檢查	93
三	增壓機之沖洗	95
四	空氣冷卻器之沖洗	98
五	增壓機效率降低對主機效能之影響	102
六	大型增壓機剖面圖和重要間隙	103
七	1H1-BBC VTR 型性能曲線	107
第五節	掃氣和排氣系統	111
一	概述	111
二	排氣溫度	112
三	過給和有關公式	113
第六節	倒順傳系統	115
一	空氣起動閥之要件	115
二	燃油凸輪之正倒傳情況	117
三	倒順傳控制系統	118
第七節	柴油機管路系統	119
一	燃油系統	119
二	滑油系統	122
三	淡水冷卻系統	125
四	海水冷卻系統	125
五	其他輔助系統	126

第四章 柴油機重要部份之校驗和維護.....130~181

第一節	概述	130
第二節	示功圖	132
第三節	燃油高壓噴射泵之校正	138
一	M.A.N. KZ 86/160E 校正	138
二	SULZER RND 調整要點	143
三	SULZER RND 68 校正實例	145
四	SULZER RD 定時校正	146
五	高壓油泵之維護	151
第四節	燃油噴射閥	154
第五節	起動系統	160
第六節	柴油機保養事項	162
一	主機吊缸時之注意事項	162
二	排氣閥軸承之保養 (SULZER RD)	169
三	一般主機保養時間和內容	173
四	SULZER RD 主機檢點事項	175
五	柴油機各部磨耗限度	178
六	各部壓力試驗最低要求	181

第五章 主機各重要構件故障案例和處理.....182~208

一	氣缸蓋龜裂	182
二	氣缸套破裂	182
三	活塞損害	183
四	連鎖損害	185
五	各軸承損害	185
六	軸承之處理	186
七	曲軸變矩測定和校正	189
八	重要螺栓折損	194
九	燃油凸輪軸傳動系統損傷	195
十	高壓油泵損傷	196
十一	主機底座、排氣閥、伸縮管等損害	196
十二	增壓機之損害和異狀	197

十三	主機異狀運轉和處理	201
十四	主機火災	206

第六章 柴油機各部機能和製造標準.....209~279

第一節	各部機能簡述	209
第二節	製造標準實例	223
一	SULZER RD 68, 76, 90 各部尺寸標準	223
二	M.A.N KZ 86 重要標準	239
三	主機泵浦能量(實例)	244
四	SULZER RND 各部重要間隙	247
第三節	對柴油機按裝上之認識	252
一	主機組立和按裝分配	252
二	主機機座按裝和曲軸撓度(變矩)	252
三	機座固定和調整裝置	258
四	主機按裝組立時之一般注意事項	266
第四節	新機按裝順序	267
第五節	主機試傳事項	269
第六節	處女航時, 主機轉速和氣缸油的調節	276

第七章 各型蘇爾塞主機簡介.....280~294

第一節	RND 和 RD 之不同點	280
第二節	RND-M 和 RND 之不同點	281
第三節	各型圖示	283

第八章 其他輪機重要事項.....295~331

第一節	主機出力 and 轉速	295
一	主機馬力的輸出	296
二	船速和外部影響	297
三	各馬力間之關係	298
四	經濟速率	299
五	推進器和主機的關係	299
第二節	艙軸油浴式油封	303
一	油封部份	303

二 軸承	303
三 滑油系統	304
四 操作和維護	304
五 檢查和修護	305
第三節 煙囪火花問題	311
第四節 WOODWARD 調速器	313
一 構件內容	313
二 作動原理	315
三 保養和校正	315
第五節 排氣副鍋爐的自動燃燒和保養	320
一 自動燃燒程序	320
二 保養	320
三 經常性修理	325
四 鍋水處理及其他	326
第六節 柴油機加裝過給機時，應注意及改造事項	330
一 四行程機之改造	330
二 二行程機之改造	330

第九章 柴油發電機.....332~349

第一節 發電機電路和檢驗	332
一 電路	332
二 檢驗項目	334
三 配電盤檢查	336
第二節 柴油機各部份檢查	337
一 柴油機部份	337
二 柴油發電機合併試驗	337
三 各部間隙	338
四 柴油發電機引擎 (MAN GV 23.5/33 ATL) 重要參攷概 述	342

第十章 船舶副機及泵浦之檢查.....350~379

一 製造中檢查	350
二 按裝檢查	350

三	運轉檢查	352
四	管路及附件之檢查	357
五	裂紋檢查	363
六	泵浦應用上之問題	366
七	迫緊及墊圈	372
八	海生物問題	374
九	海水系統的腐蝕問題	375

第十一章 船用自動控制.....380~413

一	概況	380
二	演變	380
三	自動化之作用	380
四	自動憑藉之原理	381
五	操作步驟	381
六	自動控制之缺點	381
七	自動控制之工質	382
八	自動系統基本組成構件	382
九	主副機常用自動化控制	383

第十二章 船舶檢驗海事和保固概述.....414~426

第一節	我國船舶現行檢查制度和內容	414
第二節	海事、保險和保固	421

第十三章 附錄.....427~439

第一節	聯接軸和特殊軸承校正	427
第二節	船用管材區分	430
第三節	常用焊條和鋼材	435
第四節	常用單位和數據	438

第一章 緒 論

船舶動力的有效運用及營運成本的降低，為航業界所關心的事，柴油機作為船舶動力，一向被認為最經濟，而柴油機改燃低質重油成功之後，經濟效益更大，採用作為主機者更為盛行。

在過去，柴油機雖不若蒸汽透平機之能採用低質重油，但因其具有較高之熱效率（柴油機 39%，透平機 27%，往復蒸汽機 16%）故仍能與之抗衡，自二次大戰後，重柴油機使用成功，目前，新型重柴油機軸馬力已達 55000 匹以上。而燃油消費率却降低至 152 gr / BHP / Hr. 其所佔經濟優勢更為明顯。唯重油之有效使用，歷史尚淺，各國專家仍在不斷研究改進之中，而原先規定之數字和構造，亦時有變更。從事輪機者不可不察。

柴油機改燃重油後，因其價廉而直接減低成本，但亦因重油所含不純物質遠較輕柴油為多。因此而增加之燃油加熱器，淨油機，燃油管路加熱系統等設備，以及機器保養和使用年限之影響，抵消其部份效益。但總結仍屬有利。下面是柴油機燃用輕柴油和重柴油在經濟上之概略比較：（所謂輕柴油指“A”油而言，R.W.No. 1 38~44, sec. “C”油指 1500 sec. R.W.No. 1 而言）

1. 因燃油價格差而節省之費用（單位 U.S. \$）

- (A) 輕柴油每公噸單價（1977 年 6 月） 129.00
- (B) 重柴油每公噸單價 92.00
- (C) 改用重油後增加燃油消費量 8.6%，故與一噸輕柴油相當之重油價格
 $92 + 92 \times 8.6\% = 99.82$
- (D) 改用重油後每噸節省費用 $129 - 99.82 = 29.18$
- (E) 設每 1000 BHP. 每小時耗用燃油 155 kg. 則可節省燃油消耗（以
 $155 \text{ gr. / BHP. Hr. 計}）費用 4.52$

2. 改用重油後所增加之費用（單位 U.S. \$）

- (A) 主機燃油加熱 0.16 / 1000 BHP. Hr.
- (B) 重油淨油機用電 0.015 / 1000 BHP. Hr.
- (C) 增加設備費用之分攤 0.19 / 1000 BHP. Hr.
- (D) 淨油機之保養費用 0.066 / 1000 BHP. Hr.
- (E) 活塞之保養費用 0.049 / 1000 BHP. Hr.

2 船舶重柴油機實務

(F) 氣缸磨耗增加費用 $0.23/1000 \text{ BHP.Hr.}$
(以增加 65 % 計算)

總共增加 $\text{U.S. \$ } 0.71/1000 \text{ BHP.Hr.}$

3. 改用重油後每一千匹馬力每小時可節省

$\text{U.S. \$ } 4.52 - 0.71 = \text{U.S. \$ } 3.81$

以上是概略的計算，實際上因機型不同，化學劑的添加，排氣鍋爐的利用等，均影響出入。

柴油機燃用重油的紀錄上，大型低速機，曾有燃用 6000 秒 (Redwood No. 1 at 100 °F) 的先例，而採用了甚高的加熱溫度，但比較利害得失之下，船東們寧願使用 1500 秒的重油，而且是殘油 (Residual oil) 和輕柴油的混合粘度，不是直接取自殘油。採用限止於 1500 秒的重油，其主要理由是此種油料已容易運用和泵駁，且已適合於中速大型副機之用，而加熱之要求也已適中。實際上，目前船用副機尚不能普遍採用 1500 秒的重油，但製機者的努力，對於燃燒室改進，排氣溫度降低，排氣孔減少阻塞方面等。屆以時日，當能燃用此種油料。有些船東對於某些大型四行程機也採用 3200 秒的燃油，而大型柴油機的製造廠的意見是，只要燃油能有正常的流動性，便能有效燃燒。

柴油機改燃重油後，機械上受影響最大的，莫過於氣缸套的磨耗率增加 50 ~ 100 %，由原來 0.05 ~ 0.1 mm (每 1000 小時) 而增至 0.1 ~ 0.175 mm / 1000 Hr. 甚至達到 2.0 mm / 1000 Hr. 而此項增加磨耗的最大原因，是重油中的過多含硫量，再次為鈉和鈦。重油因殘質多，含硫量高達 2.5 % ~ 5 %。鈉多因油中含海水等形成為熔渣之源，油艙壓海水是有壞影響的，為減少硫酸腐蝕，除採用鹼性氣缸油外，便是提高氣缸壁溫度，使不在硫化物露點之下。其他油頭和油泵也因油質差而易磨耗。

船舶柴油主機的趨勢，以大型氣缸 (直徑 600 mm 以上)，低速、單動式、十字頭，排氣增壓機型的重柴油機為最流行，以機型而言以 SULZER, Burmeister & Wain, 及 MAN 採用者最廣。

過去曾流行一時的複動式柴油機，雖然單位馬力所佔的空間和重量小，但究因其活塞桿填料迫緊最易故障，噴油頭無理想位置，燃燒效率低，活塞冷卻不易等，而漸趨式微，而相對式活塞引擎在保養上亦不若通用者簡單，故採用者不多。

輪機人員，隨船從事廣泛之輪機工作，不但要學驗豐富，更需堅忍沉着，因為萬一在海上發生重大機械故障，他必須處變不驚地孤軍奮鬥，來完成

緊急應變措施，無法和陸上工廠隨時能獲得外界之支援相比，而全船生命財產均為所繫，其責任之重，當可想見。

相同氣缸內徑及行程的各型引擎其馬力輸出之比較如下，以四行程單動式為標準：

四行程單動式	1.0
二行程單動式	1.8
四行程雙動式	2.0
二行程對置活塞式	3.2
二行程雙動式	3.6

主機的發展趨勢：

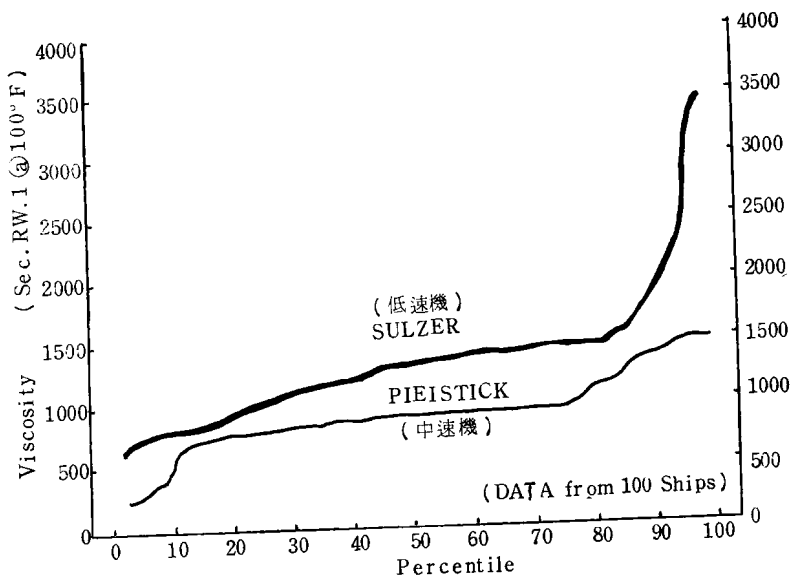
為節省能源，達到經濟目的，主機的發展趨勢要點如下：

- (1) 降低俾葉轉速：同一船速，若降低俾葉轉速 3～4%，推進效率使可增加 1%，所以大型機的設計轉速在降低中，例如 10RND90M 改進為 10RLA90（即由 122RPM 降至 90RPM）。（RLA 機型為 85～90 RPM 之低速機（行程÷氣缸直徑= 2.05）行程長）
- (2) 降低燃油消耗率：儘量提高燃燒壓力，增加有效行程和提高過給機效率及採用二段過給方式，提高平均有效壓力至 15～18 kg/cm²。
- (3) 排氣熱能的提高利用：除作為排氣增壓機，副鍋爐節熱器，並將考慮作為各種加熱器和蒸汽電力的利用。
- (4) 低級重油的燃用：低速大型機改進用 3500 秒（R.W.NO.1 AT 100 °F）中速機也擬採用 1500 秒的燃油。而儘量改進其重油所造成的缺點。
- (5) 機艙空間受限制的船舶，採用“V”型中速機（400—520RPM）PIELSTIOK ENGINE。（此種機器缸套磨耗率平均為 0.007MM/1000HR，第一條活塞令的磨耗率為 0.033MM/1000HRS）可獲得大馬力，保養上的困難也在克服中。

下列各圖表，已自行說明內容，希參攷：

4 船舶重柴油機實務

船用主機燃用重油的比例類

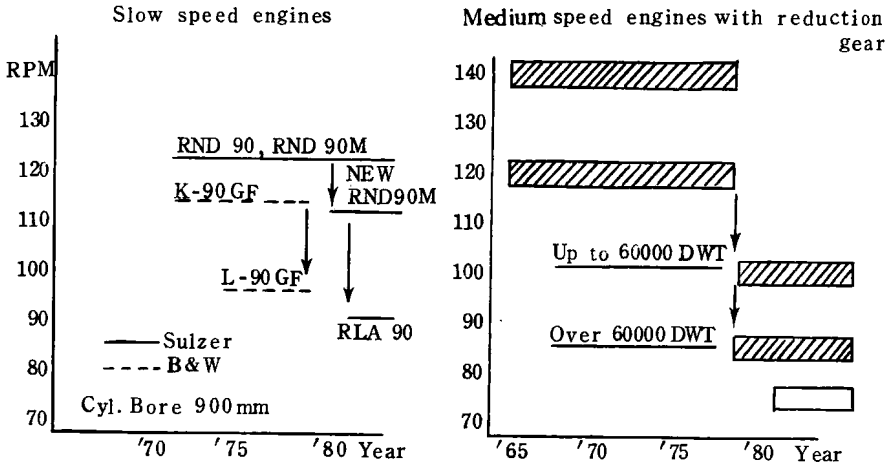


第1.5圖 (變數區間之百分率)

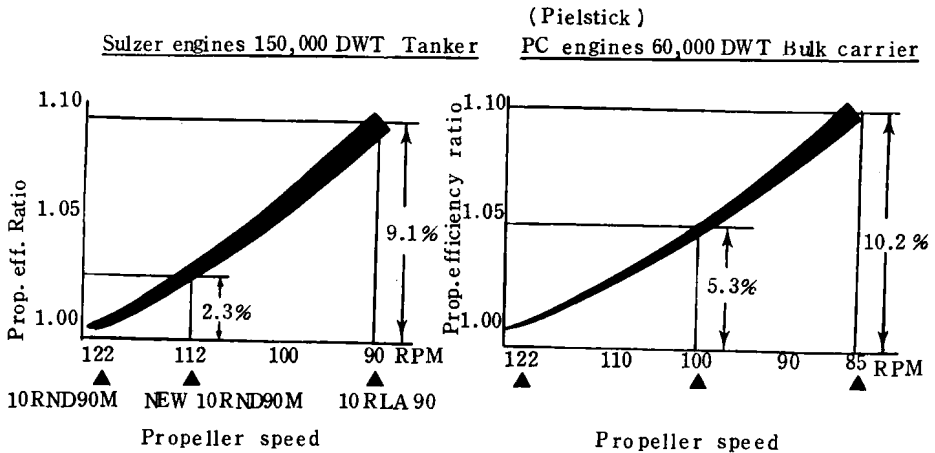
由上圖可知：

- (1) 低速機因氣缸內徑大，允許燃燒之時間較長，較中速機更能燃用低質燃油。
- (2) 以目前而言，燃用2000~3500秒者，僅佔總數8%，而以1000~1500秒者佔大多數。
- (3) 中速機以S.E.M.T.-PIELSTICK使用最多，氣缸直徑400~570，“V”形，佔空間小，燃油消耗率可降至147gr./BHP. Hr.。

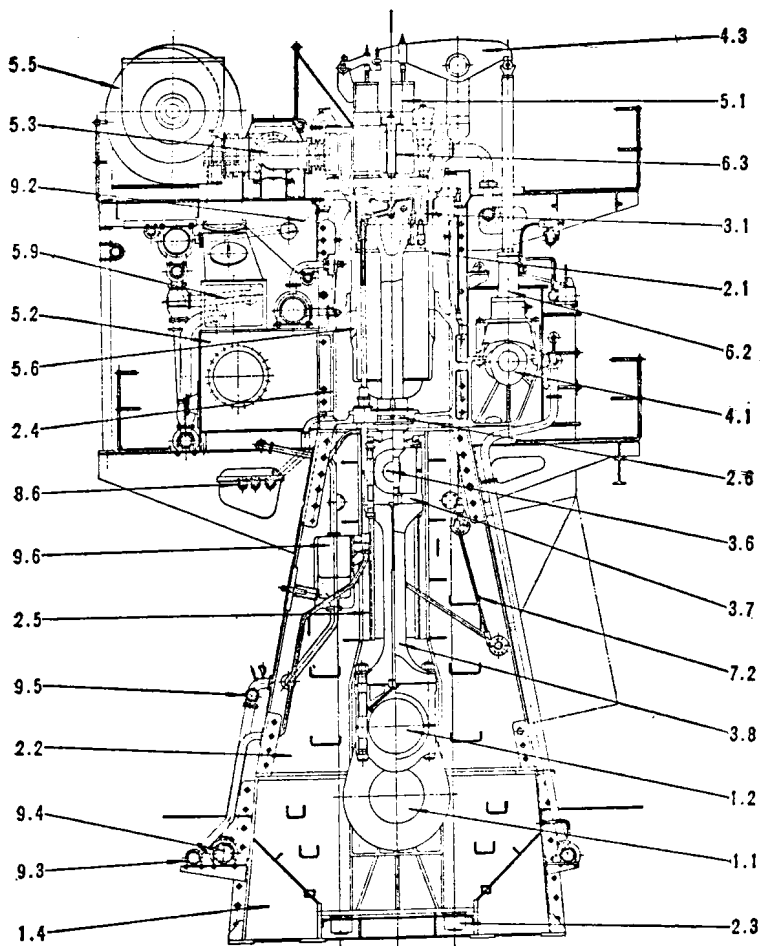
推進器（俾葉）轉速降低之趨勢



推進器轉速和效率之關係



茲將目前普用之大型柴油機剖面圖和重要部份名稱列出，以供參照比較



三菱 9 UEC 85/180D 二サイクル単動クロスヘッド形
 (850D×1,800S×115rpm, 2,800PS/cyl, $P_e: 10.73\text{kg/cm}^2$,
 $P_{max}: 80\text{kg/cm}^2$, $C_m: 6.90\text{m/s}$, $P_e \cdot C_m: 74.04 \times 2$, $b_e: 150\text{g/PS}$
 $W_t: 32.14/\text{PS}$)

圖 1.1

符號	名 稱	英 文 名 稱
1.1	曲柄軸	crank shaft
1.2	曲柄軸梢	crank pin
1.4	台板(座板)	bed plate
2.1	氣缸襯套	cylinder liner
2.2	架構	engine frame
2.3	索柱螺栓及螺帽	tension bolt nut
2.4	氣缸外套	cylinder jacker
2.5	導板	guide plate
2.6	活塞桿填料函	piston rod stuffing box
3.1	活塞	piston
3.6	十字頭梢	crosshead pin
3.7	十字頭軸承	crosshead pin bearing
3.8	連桿	connecting rod
4.1	凸輪軸	cam shaft
4.3	排氣閥桿	exhaust valve lever
5.1	排氣閥籠	exhaust valve cage
5.2	掃氣箱	scavenging air trunk
5.3	排氣管	exhaust pipe
5.5	過給機	super charger
5.6	掃氣孔	scavenging air port
5.9	空氣冷却器	air cooler
6.2	燃料噴射泵(高壓泵)	fuel injection pump
6.3	燃料噴射閥(油頭)	fuel injection valve
7.2	指示圖連動機構	indicator gear
8.6	排泄管	drain pipe
9.2	冷却水出口管	cooling water outlet piping
9.3	活塞冷却水入口管	piston cooling water inlet piping
9.4	活塞冷却水出口管	piston cooling water outlet piping
9.5	冷却水檢視器	cooling water sight glass
9.6	緩衝空氣室	air chamber

(圖 1.1 各部名稱)