

367775

中国造船工程学会 1962年年会论文集

第四分册

船用内燃机



国防工业出版社

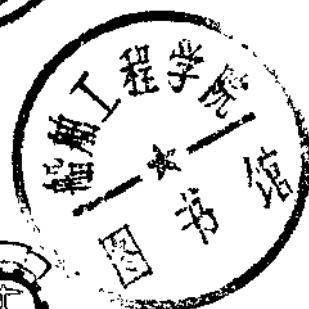
~~367775~~

中国造船工程学会
1962年年会论文集

第四分册
船用内燃机

本分册编辑

李铭慰 李渤仲 熊琳 邱耀先



国防工业出版社

1964

內 容 簡 介

本分册选編中国造船工程学会1962年年会上宣讀并討論过的有关船用內燃机方面的研究論文共十篇。各篇論文分別叙述船用內燃机的发展方向、改进性能、新設計方案以及安装使用等方面的某些研究成果。

本书可供內燃机研究、生产和使用部門的研究人員和工程技术人员閱讀、亦可供有关专业大专师生参考。

中国造船工程学会1962年年会論文集

第四分册

船用內燃机

中国造船工程学会編

*

国防工业出版社 出版

北京市书刊出版业营业許可証出字第 074 号

国防工业出版社印刷厂印装 内部发行

*

787×1092 1/16 印張111/4 259千字

1964年10月第一版 1964年10月第一次印刷 印数: 0,001—1,300册

統一書号: N15134·789 定价: (科八-2)2.30元

目 录

前言.....	3
序言.....	4
論船用內燃机的高速性和强載度.....	7
二冲程分配排气式发动机工作过程的研究.....	23
ESDZ43/82型柴油机功率的提高.....	47
論二冲程柴油机脉冲增压系設計方法.....	57
高速大功率柴油机的发展与研究.....	84
船用內燃机曲柄連杆机构安裝間隙.....	102
船用柴油机气缸結胶問題的探討.....	119
評十年来自由活塞发气机的发展.....	125
自由活塞发气机穩定器.....	142
小馬力船用柴油机倒順离合器的設計介紹.....	163

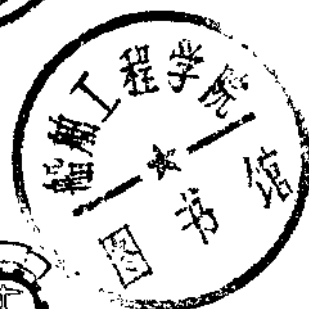
~~367775~~

中国造船工程学会
1962年年会论文集

第四分册
船用内燃机

本分册编辑

李铭慰 李渤仲 熊琳 邱耀先



国防工业出版社

1964

內 容 簡 介

本分册选編中国造船工程学会1962年年会上宣讀并討論过的有关船用內燃机方面的研究論文共十篇。各篇論文分別叙述船用內燃机的发展方向、改进性能、新設計方案以及安装使用等方面的某些研究成果。

本书可供內燃机研究、生产和使用部門的研究人員和工程技術人員閱讀、亦可供有关专业大专师生参考。

中国造船工程学会1962年年会論文集

第四分册

船用內燃机

中国造船工程学会編

*

国防工业出版社 出版

北京市书刊出版业营业許可証出字第 074 号

国防工业出版社印刷厂印装 内部发行

*

787×1092 1/16 印張111/4 259千字

1964年10月第一版 1964年10月第一次印刷 印数: 0,001—1,300册

統一書号: N15134·789 定价: (科八-2)2.30元

前 言

中国造船工程学会于1962年10月30日在上海正式成立，与此同时，举行中国造船工程学会1962年年会。会议在党的正确领导下，在有关单位的大力支持下，充分发扬了党的百花齐放，百家争鸣的方针，使五天半的学术活动呈现出一片活跃气氛，取得了很大成果。

这次会议共收到140多篇来自全国各地的学术论文，由于这是第一次全国性的年会，所采取的是综合性的形式，从论文的性质来分，有对某一专业发展方向的综合评述，有对某一研究成果的专题论著，也有对某一项具体技术工作的经验介绍。从论文的内容来分，有船体专业、船用机电设备专业、工艺铸造专业和航海驾驶专业等，几乎包括了船舶工业的各个有关方面。在会议期间共分十三个专业小组进行论文宣读和讨论。

在会议期间由于论文印刷份数有限，参加会议的绝大部分同志，都不能获得论文全文。因此不少同志反映，希望能获得有关论文资料。为此，我会决定出版论文集，以满足大家需要。

本论文集根据会议宣读与讨论的结果，挑选质量稍高的论文，以主要专业，分成船舶力学、运输船舶、渔船、船用内燃机、船用汽轮机与锅炉、船用电机电器、船舶工艺和航海驾驶等八个分册出版。每一个分册有若干篇论文，并附有对该篇论文的讨论意见。

本论文集的出版是我会初次尝试，同时编写人员限于水平，误编不妥之处，亦在所难免，恳请读者批评指正。

中国造船工程学会

1963年8月

序 言

本分册选編了船用內燃机裝置方面的論文共十篇，其中：

第一篇討論的是关于船用內燃机強載度对一些主要技术指标的影响，如重量、使用期限、工作可靠性、燃油消耗率等等，也列有統計曲綫数字及公式，供設計选型及使用参考。

第二篇是关于在二冲程发动机上进行分配排气的研究。分配排气是提高排气能量利用率的一种很早的設想，但一直尙无理論及实验研究。作者在一台单缸机上进行了这方面的工作，分析了分配排气式发动机在增压与非增压时工作过程的特点，并与等压排气的一般发动机进行了比較。得出的結論是，这种方法对提高能量的利用是有效的，在大功率低速发动机上較容易实现，但在高速机中配气机构的設計尙有困难。

第三篇是船用低速二冲程 ESDZ43/82 柴油机功率提高方面的研究。主要的途徑是改变排气凸輪的輪廓和增压器扩压器的角度，从而改善了换气效果和提高了扩压器的效能。文中附有詳細的数据和試驗結果。

第四篇闡述二冲程柴油机脉冲增压系設計的物理实质。提出設計的任务在于形成良好的脉冲和卓有成效地利用脉冲能量。对于脉冲波的容积变量計算法，提出綫图数值計算法，并将扫气口、排气口和透平等不同流量計算归结为一个統一的計算綫图，以簡化計算过程。

第五篇是綜合地分析高速大功率柴油机近二十年来的发展，从而推测今后的发展趋势和研究方向。

第六篇是关于发动机曲柄連杆机构安裝間隙問題。文中大部分內容是討論軸承間隙。作者列举及归納了現有理論及經驗公式，通过实例进行了数字計算比較。

第七篇是关于发动机气缸結胶的問題。文中討論了結胶現象、試驗經過、原因分析和防止措施。

第八及第九两篇是关于自由活塞发气机方面的問題。一篇对自由活塞发气机的发展进行了評述，其中談到了理論研究、結構改进、功率提高及我国在这方面的发展前景；另一篇是自由活塞发气机重要部分之一——稳定器的原理、結構、設計計算的討論。

第十篇是关于船用柴油机倒順离合器的設計問題。文中主要介紹了 50 公斤米船用倒順离合器的設計經過。作者根据生产和使用情况檢查了原設計中所存在的問題，与几种扭矩相当不同类型的离合器进行了比較，并就改进离合器摩擦片的磨損問題从理論上进行探討，提出摩擦片的滑油需用量的理論計算公式。文中还提到操作方法对离合器本身的影响并进行了理論分析，指出設計时应考虑的因素。

中国造船工程学会1962年年會論文集

船用內燃机分冊編輯小組

目 录

前言.....	3
序言.....	4
論船用內燃机的高速性和强載度.....	7
二冲程分配排气式发动机工作过程的研究.....	23
ESDZ43/82型柴油机功率的提高	47
論二冲程柴油机脉冲增压系設計方法.....	57
高速大功率柴油机的发展 与研究.....	84
船用內燃机曲柄連杆机构安裝間隙.....	102
船用柴油机气缸結胶問題的探討.....	119
評十年来自由活塞发气机的发展.....	125
自由活塞发气机穩定器.....	142
小馬力船用柴油机倒順离合器的設計介紹.....	163

論船用內燃機的高速性和強載度

陸 瑞 松

前 言

在設計或選購船用內燃機時，對幾個主要技術經濟指標的選擇常常頗費心思，例如在選擇速度與強載度時，就不得不考慮到其他如重量、工作可靠性、工作持久性以及對成本等方面的影響。但當遇到這些問題時，往往只能限於一些概念性方面的考慮，而很少有可能進行比較系統的分析，從而能找出各指標間具體的變化規律來。本文的內容就是應用統計及數學處理方法對這些主要技術經濟指標間建立起一套比較系統的普遍關係，以曲線及經驗公式的形式把它表達出來。但由於個人專業性質所限制，同時也沒有適當的課題，因此沒有作出全面經濟論證的實例。這里所建立的各主要技術經濟指標間的普遍關係，假如對設計及航運部門的同志進行船用內燃機及內燃機船的選型設計及全面經濟論證時有一些參考價值的話，這就實現了本文的願望。

今把各項主要技術經濟指標分別論述如下。

(一) 船舶內燃機的速度與強載度對重量指標的影響

這些指標間相互影響的關係，在過去一直沒有得到明確，或者把它複雜的關係簡單化。作者在“水運工程學報”1959年第一期上以題為“長江內燃機客貨船動力裝置的重量估算法”一文中已經指出過，並也提出了以 $G_c \sim n \cdot c_m \cdot p_c$ 為座標的新的圖譜，用以估算內燃機的重量。最近重新統計了國內外六十種以上的內燃機數據，進一步証明了 $(n \cdot p_c)$ 、 $(c_m \cdot p_c)$ 、 $(c_m \cdot n)$ 分別決定着機件的利用程度、負荷情況及動力情況，因此也就決定了內燃機的比重量。從圖1的情況看就說明了這一點，它是一族有規律的曲線，再不是一堆亂點子了。這些曲線對下列發動機，即6~8缸（四沖程機）及4~6缸（兩沖程機）的汽缸直線排列的船用柴油機有較高的正確性。鑄造及鍛造的鋼鉄機件（但高速機用鋁合金活塞）重量包括飛輪及附件在內，但不包括離合器減速箱及發動機內的油水重量。

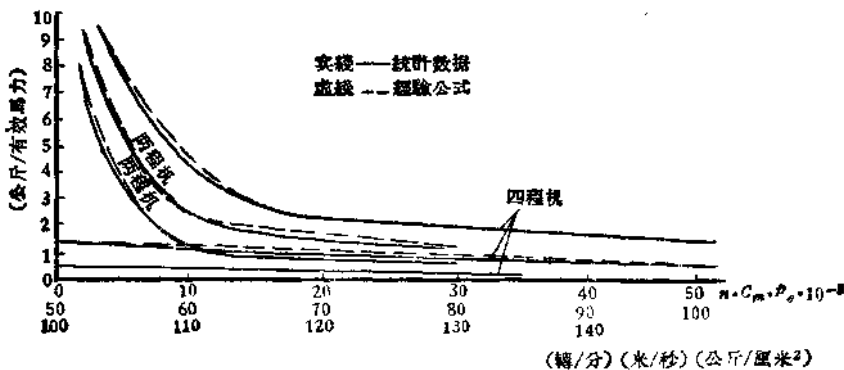


圖 1

图1的曲线经过用最小二乘法数学处理后, 作者提出下列经验公式。经验算, 证明公式与曲线是一致的。

估算比重量的经验公式如下:

$$\text{设 } X = n \cdot C_m \cdot p_e \cdot 10^{-3} (\text{转/分} \cdot \text{米/秒} \cdot \text{公斤/厘米}^2)$$

G_e = 比重量 (公斤/有效马力)

则得

四冲程机:

当 $4 \leq X \leq 18$ 时

$$G_e = 124 - 10.55X + 0.276X^2 \pm 15\% \quad (1)$$

当 $18 \leq X \leq 50$ 时

$$G_e = 28.85 - 0.297X \pm 15\% \quad (2a)$$

当 $50 \leq X \leq 100$ 时

$$G_e = 23 - 0.18X \pm 15\% \quad (2b)$$

当 $100 \leq X \leq 135$ 时

$$G_e = 13.5 - 0.085X \pm 15\% \quad (2c)$$

两冲程机:

当 $2 \leq X \leq 14$ 时

$$G_e = 125.5 - 17X + 0.68X^2 \pm 15\% \quad (3)$$

当 $14 \leq X \leq 32$ 时

$$G_e = 27.92 - 0.53X \pm 15\% \quad (4)$$

两冲程双动机:

当 $2 \leq X \leq 10$ 时

$$G_e = 106 - 17X + 0.752X^2 \pm 15\% \quad (5)$$

当 $10 \leq X \leq 30$ 时

$$G_e = 13.5 - 0.15X \pm 15\% \quad (6)$$

现在来分别讨论汽缸数目对比重量的影响, 以及活塞、连杆、曲轴、飞轮及倒顺离合减速箱等重量的估算法。这样在一些具体问题的计算中, 能够对接公式(1)~(6)算得的比重量进行适当修正。这就能使计算结果与实际更好地符合, 验算结果是令人满意的, 但新型的发动机常会偏于下限。

汽缸数目对比重量有显著的影响。这是因为如汽缸数目减少以后, 则马力按比例地减少了, 但机身前后端板的重量仍然相等。且在系列产品中, 一些辅助设备的型式及重量很多也常是不变的。更重要的是当汽缸数减少后, 飞轮的重量常相反的增加了。由于这些原因, 我们可以预见当缸数减少后比重量会大大增加, 但当缸数增加后比重量会慢慢的下降。这种变化情况见图2, 这是根据国产七种船用中小型柴油机系列产品资料整理出来的, 这里以四汽缸时的比重量作为100%, 由图可见到单缸机的比重量比四缸机者大76%, 而八缸机的比重量却比四缸机者只小20%。图2(a)[6]为低速大马力苏尔寿RSAD76型柴油机的缸数对比重量的关系, 其变化趋势基本上同中小型柴油机相似。同图上还示出铸造机身与焊接机身对比重量的影响, 由图可知焊接机身比铸造机身轻约21%。

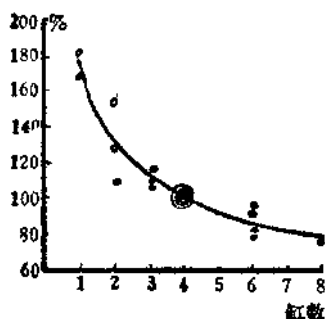


图 2

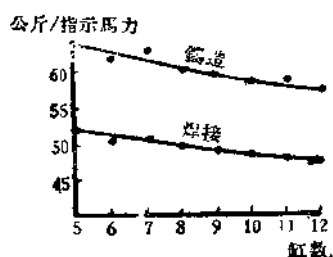


图 2(a)

活塞的材料及构造形式对活塞的重量影响很大, 如用以造活塞用的铝合金比重仅及铸铁比重的40%弱, 其拉力强度在常温虽比铸铁的大45%, 但在350°C时却只及铸铁的约55%, 因此铝活塞就要比铸铁活塞厚一些, 所以其理论上的重量约为铸铁活塞的:

$$10\% \text{ 弱} + 40\% \text{ 弱} \times (1 - 55\%) = 58\% \text{ 弱}$$

活塞的结构型式对其重量也有影响, 但结构型式是多种多样的, 这里很难作系统说明。活塞重量的估算法, 一般教科书上都用下式计算

$$G = KD^3 \quad (7)$$

式中 D ——缸径 (分米);

K ——3 (铸铁活塞);

K ——1.7 (铝合金活塞)。

这个公式是比较合理的, 因 $1.7/3 = 56.8\%$ 与前述的理论数值58% 甚相吻合。

作者用同样的方法, 对十七种船用中小型柴油机进行核算, 结果符合下式

$$G = KD^3 \quad (8)$$

式中 K ——3.3~4.3 (铸铁活塞);

K ——1~1.7 (铝合金活塞)。

这个公式对同一发动机来讲, 看来似乎并不合理, 但对不同发动机进行估算时还有一定参考价值。

连杆的材料构造型式及制造方法对其自身的重量有一定影响。在一般教科书上用下式估算, 即:

$$G = KD^3 \text{ 公斤} \quad (9)$$

式中 D ——缸径 (分米);

K ——3 (模锻);

K ——3.5 (自由锻)。

这个公式作者认为有不够合理的地方, 因连杆重量在一定程度上还与活塞的行程有关。基于这个设想, 对十种中小型船用柴油机的连杆进行了核算, 结果发现系数 K 取值如下: 2.55, 1.69, 2.82, 4.05, 4.25, 4.21, 1.94, 4.8, 2.82, 3.82。这里看出显然系数 K 范围太广了, 这就表明 $G = KD^3$ 这公式的不合理性。作者同样用这十部机器用下式计算:

$$G = KSD^3 \quad (10)$$

結果发现系数 K 为: 2, 1.34, 2.03, 2.84, 2.55, 3.37, 1.73, 2.87, 2.35, 2.68。显然范围比前述的小多了, 因此说明这个公式是比较正确的。 K 值可取为:

$$K = 1.5 \sim 2.8$$

曲轴的重量主要跟结构型式有关, 与材料的性质, 关系不太大。对船用柴油机曲轴的重量, 作者对十几部发动机的数据进行整理, 分析及数学处理后列出下列经验公式。它适用于图 3 的结构型式。



图 3

D ——缸径以分米计, S ——活塞行程以分米计, i ——汽缸数, G (同前) 以公斤计, 则

四冲程机:

低速机

$$G = 3.76D^2(S + 0.78D)(i + 1) \pm 10\% \quad (11)$$

高速机

$$G = 2.70D^2(S + 1.37D)(i + 1) \pm 10\% \quad (12)$$

两冲程机:

低速机

$$G = 3.76D^2(S + 0.98D)(i + 1) \pm 10\% \quad (13)$$

高速机

$$G = 2.70D^2(S + 1.37D)(i + 1) \pm 10\% \quad (14)$$

两冲程双动机:

$$G = 4.95D^2(S + 0.95D)(i + 1) \pm 10\% \quad (15)$$

如果轴颈及轴销是空心的, 其内径约为 $0.57D_k$ 时, 则应减去下列重量

四冲程机:

低速机

$$G_0 = 1.31D^3(i + 1) \quad (16)$$

高速机

$$G_0 = 1.17D^3(i + 1) \quad (17)$$

两冲程机:

低速机

$$G_0 = 1.47D^3(i + 1) \quad (18)$$

高速机

$$G_0 = 1.33D^3(i + 1) \quad (19)$$

两冲程双动机:

$$G_0 = 1.65D^3(i + 1) \quad (20)$$

飞轮的重量与一系列因素有关, 研究飞轮的重量, 倒不如先着手研究飞轮的迴轉力矩 GD^2

$$GD^2 = \frac{N_i K}{\delta n^3} \text{ 公斤} \cdot \text{米}^2 \quad (21)$$

系数 K 决定于发动机的型式及缸数, 不平衡度 δ 决定于发动机的用途, 这些在一般教科书上都可以查到

我們知道这样求得的迴轉力矩 GD^2 中, 包括飞輪, 发动机本身的以及有时包括被动机的迴轉力矩等的总和。从 GD^2 公式来看, 可知发动机轉速越高則飞輪越輕, 这也符合图1的趋势, 一般来讲缸数越多則飞輪也越輕, 这也符合图2的趋势。在許多情况下飞輪可以小到沒有, 其所以还要配备飞輪的目的, 只是为了轉車及修理时的方便和用以起動而已。

发动机的比重量与机体的材料及結構形式有关。在小型机上主要与材料有关, 即用鑄鉄还是用鋁合金, 当然用鋁合金的輕得多, 但船上很少采用, 故本文始終沒有論及。但在大型机上, 主要是結構形式对比重量有极大的影响, 例如曲軸箱, 机体及一系列小零件用焊接結構时, 則可以使比重量比鑄鉄者降低最大可达五倍之巨, 一些具体数字本文未會列入。

发动机的倒順离合減速器在中高速发动机上常被采用, 由于这套設備型式很多, 故求其重量时不得一概而論, 一般減速器的速比約为1:2~4間。

倒順离合減速器有一个所謂功率特性系数, 它是代表与离合器扭矩和安全系数有关的一个量, 即

$$K = \frac{N_c}{n} \cdot S \quad (22)$$

S 为安全系数, 与发动机离合次数及汽缸数有关, 也与船型有关, 数值見下表[1]

船 型	离合器每日离合次数	汽 缸 数	
		三 缸	四 缸 以 上
1 內河船	200~400	1.15	1.1
2 海船	90~200	1.15	1.1
3 拖輪和客船	200以下	1.25	1.2
4 港內拖輪	400以下	1.35	1.3
5 破冰船	400以下	1.45	1.4

从功率特性系数的定义就知道, 倒順离合減速器的重量非但与型式有关, 且对同一型式而言主要与功率特性系数有关。

本文对两种中小馬力水力操纵的倒順离合減速器, 包括其推力軸承在內的重量, 进行了整理, 通过数学处理后, 作者提出下列两个經驗公式:

1. 減速比为1:2的主动軸和从动軸不在一直綫上的倒順离合減速器, 包括推力軸承在內的重量可用下式計算:

$$G_2 = 0.5 + 4K - 0.4K^2 \text{ (公斤)} \quad (23)$$

2. 減速比为1:4的主动軸和从动軸在同一直綫上的倒順离合減速器, 包括推力軸承在內的重量可用下式計算:

$$G_4 = 0.5 + 3K - 0.32K^2 \text{ (公斤)} \quad (24)$$

上列两公式內 K 值的曲綫形态見图4。

現在我們有条件来算一个具体例子, 来看一下当推进器轉速相同的低速柴油机的重量与用倒順离合減速齒輪箱的高速柴油机的总重量間的比較关系, 及各自的变化趋势。

設某双螺旋桨內河柴油機船, 每桨为1000馬力, 試計算用不同机型时各重量与轉速間的变化关系:

設柴油機為四冲程增壓機，平均有效壓力為 9 公斤/厘米^2 ，活塞平均速度低速機取 5 米/秒 ，高速機取 8 米/秒 ，計算柴油機本身重量，用公式 (1)、(2)。

計算倒順离合減速器時用速比為 $1:4$ 的公式 (24) 計算的結果作成圖 5，從這裡看出低速機的確笨重得多，同時也看出如螺旋槳轉速超過 450 轉/分 ，則高速機的倒順离合減速齒輪箱的重量比該發動機本身還重。

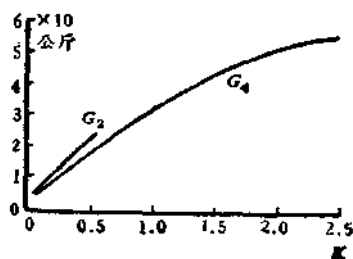


圖 4

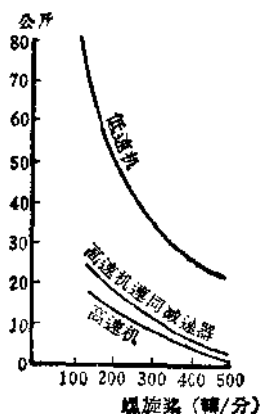


圖 5

根據計算結果還可看出，低速機的重量比高速機及倒順离合減速器總重量高出的倍數與螺旋槳轉速間的關係（見圖 6），其絕對值見圖 7，這樣假使以螺旋槳 350 轉/分 來看，則每馬力高速機要輕 21 公斤 ， 2000 馬力 則要輕 42 噸 ，這時低速機為 350 轉/分 ，高速機為 $4 \times 350 = 1400 \text{ 轉/分}$ 。

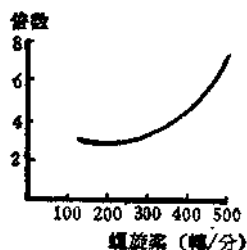


圖 6

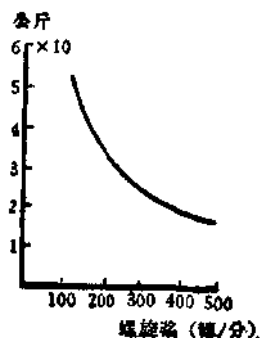


圖 7

(二) 船用內燃機的速度與強載度對使用期限的影響

所謂使用期限係指大修前的使用期限，而所謂大修係大修汽缸套及曲軸而言，因為汽缸與曲軸是兩個最關鍵性的零件，也是工作條件最嚴重的零件。因為汽缸套的使用期限一般比曲軸來得小，因此下面就只談汽缸套的問題。

汽缸套的使用期限當然與其材料及製造工藝有關，但如當這些因素相同時，則主要與發動機的構造、熱力、運動諸參數有關。有關到什麼程度呢？這是一個複雜問題，也是人們長期以來一直研究的問題，至目前為止基本上已摸清了一些規律。這些規律不擬在這裡詳細論述，下面只談一下發動機的速度與強載度對使用期限的影響，及提出一些經驗公式。

作者對十一部船用四冲程中小型柴油機缸套的使用期限進行了分析，分別以 $C_m, n \cdot C_m, n \cdot C_m \cdot P_o, C_m \cdot P_o, n \cdot P_o$ 及 n 對缸套使用期限的數據作成圖 8。

由图上发现 C_m 及 $C_m \cdot p_c$ 的点 (○, □) 最没有规律, 而 $n \cdot n \cdot p_c$ 及 $n \cdot C_m \cdot p_c$ 的点 (◇, ·, △) 最有规律, 且可很好地作成如图示的三条曲线。从这里看出影响缸套使用期限的主要因素, 主要是高速性, 其次是平均有效压力。这里姑且不谈其理由何在, 但我们可以看出因在现代发动机上其转速从低速机至高速机其变化范围约有 20 倍之巨, 而活塞平均速度变化也有 2 倍, 但平均有效压力的变化只有 2 倍不到, 就是因为转速变化范围如此之大, 因此对缸套使用期限的影响相应的也就比较规律且很大。

为什么高速性对缸套的使用期限有这么大的影响呢? 这一方面因为转速的大小即影响着单位时间里缸套承受摩擦的次数, 相应的也就影响了单位时间里缸套上, 金属的磨损量。另一方面因为在同样缸径时高速机汽缸活塞间的间隙要定得小些, 也即在使用时最大的允许磨损量定得小一些。作者根据资料 [18] 作成图 9。从图看出在同样的缸径下, 500 转/分以上的机器比 150~500 转/分者允许磨损量少 0.2 毫米, 而比小于 150 转/分者少 0.7~1.0 毫米。

平均有效压力对使用期限有影响, 这是因为当载荷增强时, 活塞环背后的压力相应的增加, 因此活塞环对缸套的压力增加, 所以会导致缸套的磨损量增加。

活塞速度本身对缸套使用期限的影响是不明显的, 这是因为当活塞速度增加时, 则缸套的润滑情况得以改善, 因此磨损量得以减少。诚然当活塞速度增加后, 较大磨损的区域将向行程中点转移, 这是由于在高速时活塞环背面的压力比较汽缸里的压力变化常落后一个时期, 因此在较大部分的行程中活塞环对汽缸将压有较大的压力, 因而引起缸套磨损区域的增大, 这在一定程度上就影响了汽缸的使用期限。

缸套的使用期限是一个极其复杂的问题。例如即使是相同的材料与消耗品, 且在相同的运转条件下, 同样型式的各个发动机经较长的运转后, 会发现其磨损量参差有达 10 倍之巨。这就很难理解, 但是我们要明白, 在这里人的因素是重要原因之一。同样一部机器如采以不同的人去管理, 就会有不同的效果。例如斯大林奖金获得者布尔拉科夫轮机长, 他

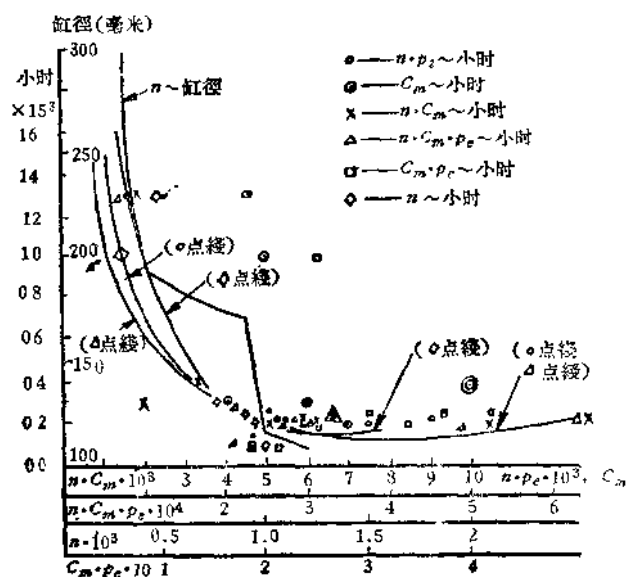


图 8

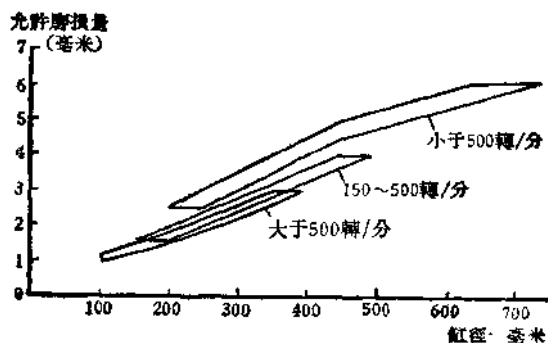


图 9