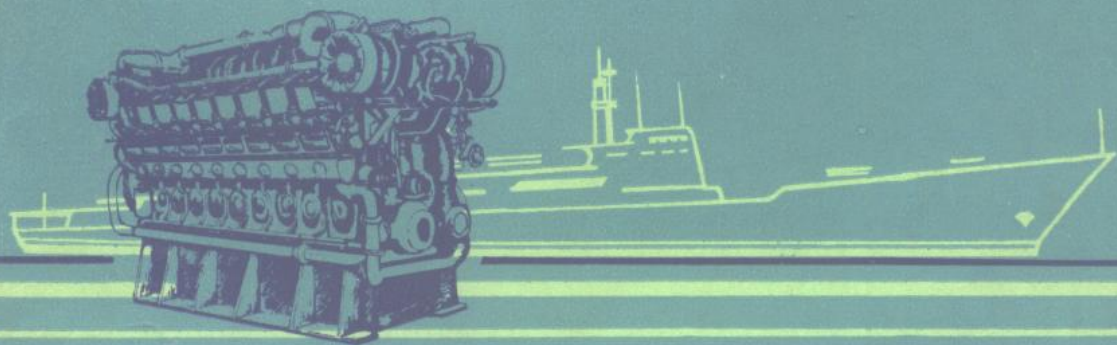


# 船用柴油机设计手册

(三)

船用柴油机工作过程计算



国防工业出版社

# 船用柴油机设计手册

(三)

## 船用柴油机工作过程计算

《船用柴油机设计手册》编辑委员会编

本篇主编：顾宏中

执笔人员：第一章：包启禹 第二章：李景培

国防工业出版社

## 内 容 简 介

本书是《船用柴油机设计手册》的第三篇。本篇主要介绍柴油机工作过程的常规计算及电算。

常规计算部分，除介绍计算方法外，还列出了各参数的选择范围，并用图表和经验公式表示，同时提供了各类型柴油机的试验数据及计算实例。

电算部分介绍了涡轮增压器与四冲程、二冲程柴油机的配合计算方法，其中包括气缸内工作过程的详细计算及用容积法进行的排气压力波计算。文中还列出了涡轮、压气机，进排气总管等部分的数学处理方法以及计算实例及电算源程序。

《船用柴油机设计手册》共有八篇及附录一章，现按篇分册出版，共九个分册：第一篇设计总论，第二篇总体设计，第三篇船用柴油机工作过程计算，第四篇动力计算，第五篇船用柴油机主要零部件，第六篇系统和附件，第七篇试验与测量，第八篇材料，最后一册为“附录”。

本书主要供船用柴油机设计研究人员使用，也可供柴油机生产和使用部门工程技术人员及高等院校有关专业的师生参考。

## 船用柴油机设计手册

(三)

船用柴油机工作过程计算

《船用柴油机设计手册》编辑委员会编

\*

国防工业出版社 出版

北京市书刊出版业营业许可证出字第 074 号

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

\*

787×1092<sup>1</sup>/<sub>16</sub> 印张 7<sup>1</sup>/<sub>2</sub> 165千字

1979年6月第一版 1979年6月第一次印刷 印数：00,001—11,000册

统一书号：15034·1784 定价：0.82元

《船用柴油机设计手册》编辑委员会

领 导 成 员

张有萱	夏 桐	沈岳瑞	李渤仲
陈时雄	余运生	孙全柱	李忠仁
刘 仁	熊 琳	刘 颖	胡国栋
于康庄	赖灵淮	谭汉雄	朱国信

《船用柴油机设计手册》编辑工作组

刘 锦	张连方	方 商	商云祥
邱耀先	华裕达	潘荫琪	殷志成
程华峰	徐景福	茅建国	

## 前 言

柴油机已经有将近一个世纪的发展历史，但迄今技术上仍处于不断改进和发展阶段。柴油机在各种类型军民船舶中应用极为广泛。根据国外不完整的统计资料，1976年新建的2000吨以上民用船舶中，柴油机动力已超过一千万马力，占船舶主机总马力的72%，并且有继续上升的趋势。中小型运输船，工程船及渔轮中柴油机的应用更为普遍。在舰艇中，虽然近年来燃气轮机的发展在一定范围内取代了柴油机，但在中、小型战斗舰艇中，柴油机因其经济性较好以及其它原因，仍被广泛采用。大量军用辅助舰船中，柴油机更是主要动力。因此，大力发展柴油机制造工业和不断提高船用柴油机性能和技术水平是发展我国内河和海洋运输事业，建设强大海军和开发海洋资源的一项重要措施。

我国在解放前几乎没有船用柴油机制造业。解放后随着国民经济和国防建设的发展，船用柴油机工业也获得迅速的发展。在“独立自主、自力更生”社会主义建设方针的指引下，1958年我国年青的船机科研设计队伍开始自行研制了多种型号舰船用柴油机，其中包括远洋运输船舶所用的低速重型柴油机，以及大功率中、高速柴油机，有多种型号通过了国家鉴定，已进行正式生产，装备了许多舰船，累积了一定的研究、设计新型船用柴油机的经验。

现在我国社会主义革命和社会主义建设进入了一个新的时期，以华国锋同志为首的党中央领导全国各族人民开始了新的长征。为了实现新时期的总任务，全国科学大会制定了科学技术发展的近期和远景规划，号召科学技术要走在国民经济和国防建设的前面。船用柴油机工业及其科学技术也进入了以高速度向现代化进军的阶段。

在这一新的阶段中，船用柴油机科研和设计工作应认真总结建国以来正、反两方面的经验，并在“独立自主、自力更生”的基础上，有分析、有选择地学习国外的先进技术。在统一领导、全面规划的前提下，研究发展更多的、符合我国国情的各种类型舰船用柴油机及其附属设备，尽快地把我国舰船用柴油机的技术提高到世界先进水平，为实现国民经济和国防建设现代化作出应有的贡献。《船用柴油机设计手册》就是为了适应这一新形势的要求，总结我国多年来的研究设计经验，及本着“洋为中用”的原则适当地选用了一些国外可靠的设计方法和资料编写的，为我国从事船用柴油机的广大科研、设计、教学、生产和使用人员提供必要的船用柴油机研究、设计的技术知识和资料。

本手册的读者对象是具备一定基础理论知识和实际经验的本专业从业人员，其中有些篇章也可供与船用柴油机有关的其它专业人员参考，以及作为大专院校有关专业学生的辅助学习资料。

本书共分八篇。第一篇是设计总论，其内容是介绍船用柴油机发展简史和当前发展趋势，阐明有关设计指导思想和设计程序中的有关问题，其中特别强调船用柴油机的三化问题；介绍各种类型舰船对柴油机设计的技术要求。第二篇是总体设计，介绍船用柴油机在总体设计阶段所要考虑的各种技术问题，提供各种设计方案比较用的资料和计算方法。第

三、四两篇是有关工作过程和动力学方面的计算方法。第五篇是船用柴油机主要零部件设计、计算和专用试验方法的介绍。第六篇是船用柴油机各种系统及其有关附件的设计。第七篇是船用柴油机在研制过程中各种试验研究方法的详细介绍。第八篇是有关船用柴油机使用材料和油料的介绍。最后附录一章是国内外有代表性的各种类型船用柴油机参数总表、剖面图、有关标准资料、国际单位与公制单位的换算以及电算程序。每篇暂以分册形式出版，以便读者选用。全手册出齐后，再发行一部分合订本。

我们准备在第一版出版以后，通过科学研究和广泛的学术交流，逐步形成我国自己的、比较完善的船用柴油机研究设计方法，积累丰富的设计资料和数据，在以后的版本中修订和补充，使有助于尽快的提高我国船用柴油机技术，赶超国外先进水平。

由于本手册系第一次编写，内容不完善的地方一定很多，希望读者在使用中发现需要补充和修订的地方随时取得联系，以便在今后再版时加以修订和充实。

本手册的编写是在国内有关船用柴油机科研、设计的领导机关、院校、科研设计单位和生产单位的大力协同下进行的，共有 100 余人参加了各篇、章、节的编写，为了对编写的内容负责，篇、章的主要编写人员都有署名。编辑委员会借此出版机会，特向各有关单位领导的大力支持和有关同志的热情帮助表示深切的感谢。

《船用柴油机设计手册》编辑委员会

# 目 录

## 第三篇 船用柴油机工作过程计算

本篇常用符号及单位 .....	3-1
第一章 工作过程估算 .....	3-5
第一节 总论 .....	3-5
(一) 工作过程估算的目的意义 .....	3-5
(二) 非增压与废气涡轮增压柴油机的理论示功图 .....	3-5
第二节 工作过程估算 .....	3-7
(一) 废气涡轮增压系统主要参数的估算 .....	3-7
(二) 换气过程计算 .....	3-13
(三) 压缩过程计算 .....	3-16
(四) 燃烧过程计算 .....	3-18
(五) 膨胀过程计算 .....	3-22
(六) 示功图的绘制 .....	3-24
(七) 指示参数及有效参数的计算 .....	3-25
(八) 增压柴油机热力过程参数关系的综合分析 .....	3-26
(九) 工作过程计算实例 .....	3-27
第三节 柴油机的热平衡 .....	3-30
第四节 二冲程柴油机换气过程计算 .....	3-32
(一) 计算目的及时面值的概念 .....	3-32
(二) 换气计算 .....	3-33
(三) 二冲程柴油机换气计算实例 .....	3-38
参考资料 .....	3-40
附表 国内外各种类型柴油机主要性能参数表 .....	3-41
第二章 应用电子计算机计算柴油机工作过程 .....	3-44
概述 .....	3-44
第一节 废气涡轮增压柴油机各热力平衡系统的划分 .....	3-44
第二节 工质的气体常数、绝热指数、分子量及比热 .....	3-45
第三节 气缸内工作过程 .....	3-47
(一) 气缸内的能量平衡方程和质量连续方程 .....	3-47
(二) 气缸工作容积 .....	3-49
(三) 燃烧放热规律 .....	3-49
(四) 气缸周壁的热传导 .....	3-51
(五) 进排气阀(口)的流动计算 .....	3-52
(六) 二冲程柴油机的分层扫气过程 .....	3-55
(七) 气缸纯空气量的计算 .....	3-58
第四节 排气管内的过程 .....	3-59
(一) 从气缸进入排气管的热量 .....	3-60
(二) 从排气管流出的热量 .....	3-60
第五节 废气涡轮增压器及中冷器内的工作过程 .....	3-62

(一) 废气涡轮增压器 .....	3-62
(二) 中冷器 .....	3-64
第六节 联立微分方程组的数值求解 .....	3-64
第七节 计算实例 .....	3-68
第八节 柴油机某些参数变化时的模拟计算 .....	3-68
(一) 着火提前角 $\theta_z$ 和燃烧持续角 $\varphi_z$ 对性能参数的影响 .....	3-68
(二) 涡轮喷嘴截面变化对性能参数的影响 .....	3-73
(三) 进、排气阀流量系数对性能的影响 .....	3-74
(四) 二冲程柴油机扫气效率与性能的关系 .....	3-74
第九节 燃烧放热规律计算 .....	3-75
(一) 计算目的 .....	3-75
(二) 基本方程式 .....	3-75
(三) 计算方法 .....	3-76
第十节 废气涡轮增压柴油机工作过程计算源程序示例 .....	3-79
(一) 程序功能及符号说明 .....	3-79
(二) 输入数据和输出格式说明 .....	3-82
(三) 工作过程计算源程序示例 .....	3-87
参考资料 .....	3-111



## 本篇常用符号及单位

**使用说明：**本手册因内容广泛，涉及面广，所用符号繁多，难以完全统一，因此将各篇常用的符号分在各篇中。本表所列符号仅为本篇各章常用者，其它专用符号未予收入，但在文中出现时另外作有说明。

$A$	热功当量	公斤·米/大卡	$M$	剩余废气量	公斤莫尔/公斤
$A$	时面值	米 <sup>2</sup> ·秒	$N_e$	有效功率	马力
$A_{CW}$	中冷器通流面积	米 <sup>2</sup>	$N_i$	指示功率	马力
$C_m$	活塞平均速度	米/秒	$p$	气体压力	公斤/厘米 <sup>2</sup>
$C_{Vma}$	纯空气平均定容比热	大卡/公斤·°K	$p_0$	大气压力	公斤/厘米 <sup>2</sup>
$C_{pma}$	纯空气平均定压比热	大卡/公斤·°K	$p_s$	进气管压力(或扫气箱	
$C_{Vme}$	纯燃烧产物平均定容			压力)	公斤/厘米 <sup>2</sup>
	比热	大卡/公斤·°K	$p_c$	压缩终点压力	公斤/厘米 <sup>2</sup>
$C_{pme}$	纯燃烧产物平均定压		$p_z$	最高爆炸压力	公斤/厘米 <sup>2</sup>
	比热	大卡/公斤·°K	$p_k$	增压器出口压力	公斤/厘米 <sup>2</sup>
$D$	气缸直径	米	$p_T$	涡轮前压力	公斤/厘米 <sup>2</sup>
$F_C$	废气涡轮喷嘴通流面积	米 <sup>2</sup>	$p_{T0}$	涡轮后压力	公斤/厘米 <sup>2</sup>
$F_L$	废气涡轮动叶通流面积	米 <sup>2</sup>	$p_b$	膨胀终了气缸内压力	公斤/厘米 <sup>2</sup>
$F_T$	废气涡轮当量喷嘴通流面积	米 <sup>2</sup>	$p_i$	平均指示压力	公斤/厘米 <sup>2</sup>
$G$	瞬时气缸内气体总重量	公斤	$p_e$	平均有效压力	公斤/厘米 <sup>2</sup>
$G_K$	增压器出口的空气质量	公斤/秒	$p_m$	平均机械损失压力	公斤/厘米 <sup>2</sup>
$G_N$	瞬时气缸内纯空气质量	公斤	$p_{BT}$	排气管气体压力	公斤/厘米 <sup>2</sup>
$G_S$	通过柴油机气缸的空气质量	公斤/秒	$Q_f$	燃料燃烧放热量	大卡
$G_T$	燃气流量	公斤/秒	$Q_w$	冷却放热量	大卡
$G_f$	燃油消耗量	公斤/小时	$Q_{wR}$	排气管壁放热量	大卡
$G_{BT}$	排气管气体重量	公斤	$R$	曲柄半径	米
$H_u$	燃料低发热值	大卡/公斤	$R$	气体常数	公斤·米/公斤·°K
$K$	气体绝热指数		$S$	活塞行程	米
$L_0$	1公斤燃料理论燃烧所需		$T$	气体温度	°K
	空气量	公斤莫尔/公斤	$T_0$	大气温度	°K
$L$	1公斤燃料实际燃烧所需		$T_s$	进气管空气温度	°K
	空气量	公斤莫尔/公斤	$T_a$	压缩始点温度	°K
$L$	连杆长度		$T_c$	压缩终点温度	°K
$M_2$	1公斤燃料实际燃烧时的燃烧		$T_z$	燃烧终点温度	°K
	产物量	公斤莫尔/公斤	$T_K$	增压器出口空气温度	°K

$T_b$	膨胀终点温度	$^{\circ}\text{K}$	$i_e$	排气阀(口)流出气体热焓	大卡/公斤
$T_r$	排气终了缸内气体温度	$^{\circ}\text{K}$	$m$	燃烧品质指数	
$T_T$	涡轮前气体温度	$^{\circ}\text{K}$	$n$	柴油机转速	转/分
$T_w$	燃烧室表面温度	$^{\circ}\text{K}$	$n_{TK}$	涡轮增压器转速	转/分
$T_{BT}$	排气管内气体温度	$^{\circ}\text{K}$	$n_1$	平均多变压缩指数	
$V$	气缸容积	米 <sup>3</sup>	$n_2$	平均多变膨胀指数	
$V_C$	气缸压缩室容积	米 <sup>3</sup>	$u$	气体内能	大卡/公斤
$V_h$	气缸工作容积	米 <sup>3</sup>	$w$	气体流速	米/秒
$V_{BT}$	排气管容积	米 <sup>3</sup>	$\alpha$	燃烧过量空气系数	
$W_T$	废气涡轮每循环收到的有效功	大卡/循环	$\alpha_s$	总过量空气系数	
$W_K$	压气机每循环收到的总功	大卡/循环	$\alpha_n$	热传导系数	
$X$	燃料燃烧的百分比		$\beta_0$	理论分子变更系数	
$Z$	气缸数目		$\beta$	实际分子变更系数	
$a_0$	扫气质量系数		$\beta_r$	纯燃烧产物分子变更系数	
$b_s$	扫气口宽度	米	$\gamma_r$	剩余废气系数	
$b_e$	排气口宽度	米	$\gamma_g$	缸内气体瞬时废气系数	
$dG_s/d\varphi$	进气流量率	公斤/度(曲柄转角)	$\Delta p_{cw}$	中冷器压力降	公斤/米 <sup>2</sup>
$dG_e/d\varphi$	排气流量率	公斤/度(曲柄转角)	$\Delta T_{cw}$	中冷器温度降	$^{\circ}\text{K}$
$dG_T/d\varphi$	废气涡轮流量率	公斤/度(曲柄转角)	$\lambda$	压力升高比或曲柄连杆比	
$dG_{zB}/d\varphi$	各气缸流入排气管流量率	公斤/度(曲柄转角)	$\rho$	初膨胀比	
$dQ_f/d\varphi$	燃烧放热率	大卡/度(曲柄转角)	$\delta$	后膨胀比	
$dQ_w/d\varphi$	冷却放热率	大卡/度(曲柄转角)	$\theta_z$	着火提前角	$^{\circ}$ 度(曲轴角度)
$dQ_{wB}/d\varphi$	排气管壁放热率	大卡/度(曲柄转角)	$\varphi$	曲柄转角	$^{\circ}$ 度
$dX/d\varphi$	燃料燃烧率	1/度(曲柄转角)	$\varphi_K$	扫气过量空气系数	
$f_s$	进气口开启面积	米 <sup>2</sup>	$\varphi_s$	扫气系数	
$f_e$	排气口开启面积	米 <sup>2</sup>	$\varphi_z$	燃烧持续角	$^{\circ}$ 度
$g_f$	每循环喷入气缸燃料重量	公斤	$\epsilon$	压缩比	
$g_e$	有效油耗率	公斤/马力·小时	$\epsilon_e$	有效压缩比	
$g_i$	指示油耗率	公斤/马力·小时	$\psi_s$	行程失效系数	
$g_K$	空气消耗率	公斤/马力·小时	$\xi_z$	Z点的热量利用系数	
$h_v$	气阀升程	米	$\xi_b$	b点的热量利用系数	
$h_s$	进气口高度	米	$\xi_T$	涡轮前的热量利用系数	
$h_e$	排气口高度	米	$\xi_{CH}$	中冷器阻力系数	
$i$	焓	大卡/公斤	$\eta_f$	示功图丰满系数	
$i_s$	进气阀(口)流入气体热焓	大卡/公斤	$\eta_v$	充量系数	
			$\eta_i$	柴油机指示效率	
			$\eta_e$	柴油机有效效率	
			$\eta_m$	柴油机机械效率	

$\eta_K$	压气机绝热效率		$\mu_{C_{v,me}}$	纯燃烧产物平均定容 莫尔比热	大卡/公斤莫尔·°K
$\eta_T$	涡轮绝热效率		$\mu$	流量系数	
$\eta_{TKm}$	涡轮增压器机械效率		$\mu_T$	废气涡轮当量喷嘴流量系数	
$\eta_{TK}$	涡轮增压器总效率		$\mu_S$	扫气口流量系数	
$\eta_{Tmax}$	涡轮最高绝热效率		$\mu_e$	排气口流量系数	
$\eta_S$	扫气效率		$\tau$	冲程数	
$\eta_{CW}$	中冷器冷却效率		$\pi_K$	压气机的增压比	
$\mu$	缸内气体分子量	公斤莫尔	$\pi_T$	涡轮的膨胀比	
$\mu_e$	纯燃烧产物分子量	公斤莫尔			
$\mu_a$	纯空气分子量	公斤莫尔			
$\mu_{C_{v,ma}}$	纯空气平均定容莫尔 比热	大卡/公斤莫尔·°K			

注：1. 本篇第二章所用压力单位除注明外均用公斤/米<sup>2</sup>。

2. 本篇第一、二章所用下角字说明：

$g$ ——气缸；

$BT$ ——排气管；

$T$ ——废气涡轮；

$K$ ——压气机；

$TK$ ——废气涡轮增压器；

$S$ ——扫气箱；

$CW$ ——中冷器。

# 第三篇 船用柴油机工作过程计算

## 第一章 工作过程估算

### 第一节 总 论

#### (一) 工作过程估算的目的意义

本章除主要介绍工作过程的计算外,还包括热平衡计算和二冲程换气计算。

本章中所介绍的工作过程估算方法系目前船用柴油机设计制造单位所习惯采用的一种常规估算方法。估算是以理想的混合循环加热方式作为出发点,并假定其中的几个过程的始终点是以活塞上下死点为准,二冲程以有效压缩开始为准,求出各特征点的状态参数,然后绘制出示功图并用整圆系数加以修正。计算应用较简单的关系式和利用一些经验数据来处理实际的复杂过程。实践证明,本估算方法只要各过程中的主要参数能积累有较多的实验参考数据并选择得当,还是有一定实用价值的。它还具有计算简单及便于掌握应用的优点。

柴油机工作过程估算在设计或研制一台柴油机时能起到以下几个方面的作用:

- 1) 通过估算可以初步了解与掌握各热力参数之间的内在联系,供柴油机在设计改进时进行性能分析和调整试验时作参考。
- 2) 柴油机动力计算和强度计算均需用本估算所获得的示功图作为基础。
- 3) 提供增压系统的设计参数如  $p_k$ 、 $G_k$  等或作为选配增压器参数时的依据。

#### (二) 非增压与废气涡轮增压柴油机的理论示功图

非增压柴油机的理论示功图如图 3.1.1.1 所示。

面积  $a-c-Y-Z-b$  相当于柴油机一个循环的指示功。面积  $3-5-a-4$  相当于一个循环的泵气功(在非增压中是负功)。

废气涡轮增压柴油机的理论示功图见图 3.1.1.2 (以 1 公斤气体参加全部工作过程,并不考虑扫气时的情况)。

废气涡轮增压柴油机与非增压柴油机的不同处在于:进气压力不是  $p_0$  而是  $p_s$ ;排气背压不是  $p'_0$  而是  $p_T$  (其中  $p_s > p_0$ ,  $p_T > p'_0$ );  $3-a-5-4$  的泵气功在这里是正功。

在废气涡轮增压柴油机中,进气压力提高到  $p_s$  是借助于压气机来实现,它需要消耗能量。图上  $2-3-a-1$  是压缩空气进入柴油机气缸作功的能量;对废气涡轮增压器中的压



在定压系统中基本上是损失掉了，但是这部分能量将转变为热能加热气体本身，使气体的容积增加了  $\Delta V(e \rightarrow e')$ ，同时，涡轮前的温度也有所提高，因而涡轮功的面积将会增加一个  $e-e'-f'-f$ ，这样定压涡轮的总功则为面积  $2-4-e'-f'-2$ 。

在脉冲增压系统中， $5-b-e-5$  这部分能量是尽量考虑要加以利用的，至于被利用的程度将视排气管的尺寸、布置、几缸连一根管以及涡轮效率等情况而定。而涡轮前的压力  $p_T$  不像定压系统那样是一个定值，它是随曲轴转角周期变化的。在确定废气涡轮增压器的主要参数时，通常按定压涡轮来设计，只是按压力波对时间的平均值乘以一个修正系数来考虑脉冲动能的影响。

## 第二节 工作过程估算

### (一) 废气涡轮增压系统主要参数的估算

在进行废气涡轮增压柴油机的工作过程计算时，必须首先对增压系统主要参数进行估算。这些主要参数是：

- 增压压力  $p_K$ ；
- 空气流量  $G_K$ ；
- 燃气流量  $G_T$ ；
- 涡轮进口压力  $p_T$ ；
- 涡轮进口温度  $T_T$ ；
- 增压器的效率  $\eta_{TK}$ 、 $\eta_K$ 、 $\eta_T$ 、 $\eta_{TKm}$ 。

其估算程序如下：

1. 选定涡轮进口温度  $T_T$  在正常燃烧与扫气情况下，涡轮进口温度  $T_T$  可以反映同类型柴油机的热负荷状况。而热负荷对增压柴油机尤其对高增压大功率柴油机是影响柴油机寿命和可靠性的主要因素之一。目前国内外生产的高增压大功率柴油机的  $T_T$  值范围为：

- 四冲程高速柴油机  $t_T = 550 \sim 650^\circ\text{C}$ ；
- 四冲程中速柴油机  $t_T = 500 \sim 580^\circ\text{C}$ ；
- 二冲程中速柴油机  $t_T = 400 \sim 500^\circ\text{C}$ ；
- 二冲程低速柴油机  $t_T = 370 \sim 430^\circ\text{C}$ 。

各种类型柴油机的具体  $T_T$  值可参阅表 3-1-2-3 和表 3-1-2-4。

要使涡轮的进口温度保持较低，就需要用较大的总过量空气系数  $\alpha_2$  来保证。这时，柴油机的空气消耗率  $g_K$ （每马力小时消耗多少公斤空气）也较大。

空气消耗率  $g_K$  的范围为：

- 四冲程高速柴油机  $g_K = 4.5 \sim 5.8$  公斤/马力·小时；
- 四冲程中速柴油机  $g_K = 5.2 \sim 6.3$  公斤/马力·小时；
- 二冲程中速柴油机  $g_K = 6.2 \sim 8.0$  公斤/马力·小时；
- 二冲程低速柴油机  $g_K = 7.0 \sim 8.4$  公斤/马力·小时。

2. 根据涡轮进口温度  $T_T$  估算空气流量  $G_K$   $T_T$  与  $G_K$  之间的关系可以通过流进流出柴油机气缸的气体间的能量平衡关系来建立。能量平衡式如下：

$$\xi_T H_u - \frac{632.3}{g_e \eta_m} + \alpha_2 L_0 (\mu C_p)_s T_s = (\alpha_2 - 1 + \beta_0) L_0 (\mu C_p)_T T_T \quad (3.1.2.1)$$

式中

第一项为 1 公斤柴油燃烧后被利用的热量

$H_u$ ——燃料低发热值；

$\xi_T$ ——涡轮前的热量利用系数。

第二项为 1 公斤柴油燃烧后作出的指示功相当的热量

$g_e$ ——有效油耗率；

$\eta_m$ ——柴油机机械效率。

第三项为 1 公斤柴油燃烧所需空气带来的热量

$\alpha_2 = \alpha \varphi_s$ ——总过量空气系数；

$(\mu C_p)_s$ ——柴油机进气管内空气在绝对温度  $T_s$  时的定压莫尔比热，可利用下式求得：

$$(\mu C_p)_s = 6.59 + 0.0006 T_s \quad (\text{千卡/公斤莫尔}^\circ\text{K}) \quad (3.1.2.2)$$

第四项为 1 公斤柴油燃烧后废气中相应的热量

$\beta_0$ ——理论分子变更系数；

$L_0$ ——1 公斤燃料理论燃烧所需的空气量；

$(\mu C_p)_T$ ——涡轮进口处燃气平均温度为  $T_T$  时的燃气定压莫尔比热，可利用下式求得：

$$(\mu C_p)_T = 1.986 + \frac{4.89 + (\alpha_2 - 1)4.6}{\alpha_2} + \frac{86 + (\alpha_2 - 1)60}{\alpha_2 \times 10^5} T_T \quad (\text{千卡/公斤莫尔}^\circ\text{K}) \quad (3.1.2.3)$$

有效油耗率  $g_e$  在设计柴油机时有一个预计指标值，系根据柴油机的类型而定，一般为：

高增压高速四冲程柴油机  $g_e = 0.160 \sim 0.170$  公斤/马力·小时；

高增压中速四冲程柴油机  $g_e = 0.150 \sim 0.165$  公斤/马力·小时；

增压高速二冲程柴油机  $g_e = 0.165 \sim 0.180$  公斤/马力·小时；

增压中低速二冲程柴油机  $g_e = 0.150 \sim 0.160$  公斤/马力·小时。

柴油机的机械效率  $\eta_m$  与其转速、增压度、结构形式、制造工艺水平等有关，一般为：

增压高速四冲程柴油机  $\eta_m = 0.83 \sim 0.88$ ；

增压中速四冲程及中速二冲程柴油机  $\eta_m = 0.87 \sim 0.90$ 。

$\eta_m$  也可根据下面所推荐的计算平均机械损失压力  $p_m$  的经验公式来求得：

四冲程增压柴油机  $p_m$  的经验公式为：

$$p_m = D^{-\frac{1}{4}} \{0.087(p_e + C_m) - 0.524\} \text{公斤/厘米}^2 \quad (3.1.2.4)$$

式中  $D$ ——气缸直径 米；

$C_m$ ——活塞平均速度 米/秒；

$p_e$ ——平均有效压力 公斤/厘米<sup>2</sup>。

二冲程增压柴油机  $p_m$  的经验公式为：

单级自由废气涡轮增压

$$p_m = D^{-\frac{1}{4}} \{0.042(2p_e + C_m) - 0.075\} \text{公斤/厘米}^2 \quad (3.1.2.5)$$

带有第二级机械增压器

$$p'_m = p_m + \frac{N_{K_2} \times 450}{ZV_s n} \text{ 公斤/厘米}^2 \quad (3.1.2.6)$$

$N_{K_2}$ ——机械增压器所消耗的功率 马力。

$p_m$  在具体计算时可由图 3.1.2.1 及图 3.1.2.2 查得。

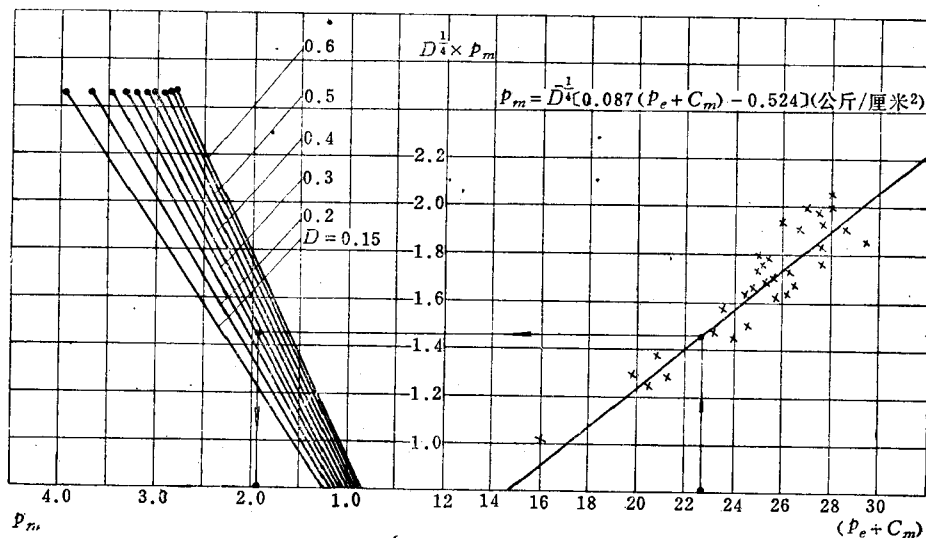


图3.1.2.1 四冲程增压柴油机 $p_m$ 经验公式图线

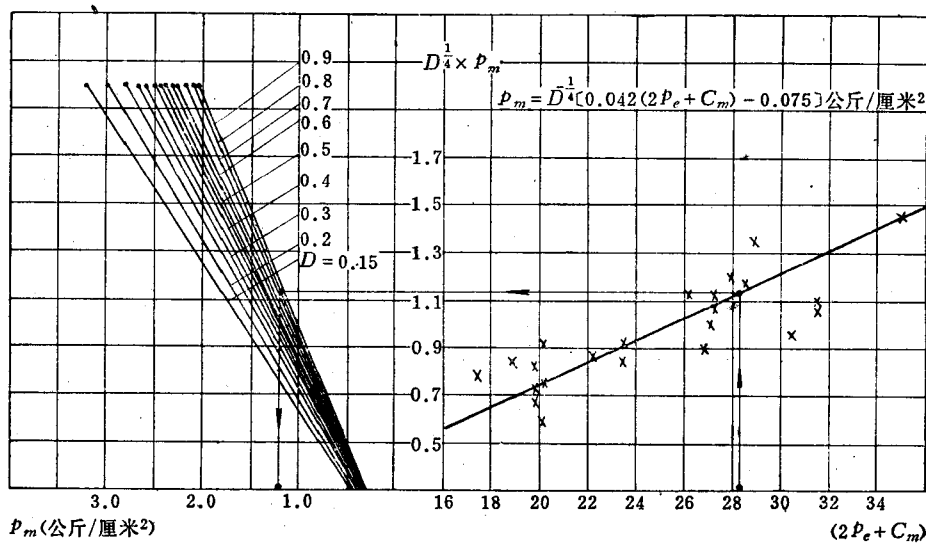


图3.1.2.2 二冲程增压柴油机 $p_m$ 经验公式图线

$p_m$  得到后由

$$\eta_m = \frac{p_e}{p_e + p_m}$$

即可求出  $\eta_m$ 。

柴油机进气管内的空气温度  $T_s$  根据有无中冷器以及中冷器的中冷情况可作一估计。

一般，在有中冷器时：



## 中、高速四冲程及二冲程柴油机

$$T_s = 273 + (40 \sim 60)^\circ \text{K}$$

## 低速二冲程柴油机

$$T_s = 273 + (30 \sim 40)^\circ \text{K}$$

在无中冷器时,  $T_s \approx T_K$ , 可根据增压比及压气机的效率算出。图 3.1.2.3 给出不同压气机效率下的  $\pi_K - T_K$  曲线。

至此, 只要把式中的热量利用系数  $\xi_T$  定下来, 就可由选定的  $T_T$  值通过公式 (3.1.2.1) 把总过量空气系数  $\alpha_\Sigma$  值求出, 再由  $\alpha_\Sigma$  值根据公式 (3.1.2.7) 直接可求出空气流量  $G_K$  值。

$$G_K = \frac{N_e g_e \alpha_\Sigma \cdot 14.3}{3600} \quad \text{公斤/秒} \quad (3.1.2.7)$$

热量利用系数  $\xi_T$  的确定是比较复杂的, 它与气体对燃烧室周壁和排气管的传热情况密切有关。而相对散热量主要决定于气体在传热过程中的瞬时传热系数  $\alpha_r$ 。要精确确定  $\alpha_r$  是比较困难的。下面推荐一个以实验数据为基础的半经验公式来求算  $\xi_T$ 。

根据目前实际四冲程增压柴油机的经验资料

$$\xi_T = 1.02 - 0.001 R_1 \quad (3.1.2.8)$$

式中

$$R_1 = \frac{(\alpha g_i)^{0.5} T_s C_m^{0.78}}{(Dn)(Dp_s)^{0.22}} \quad (3.1.2.9)$$

$\alpha$  —— 燃烧过量空气系数;

$g_i$  —— 指示油耗率  $g_i = g_e \cdot \eta_M$  克/马力·小时;

$C_m$  —— 活塞平均速度 米/秒;

$D$  —— 气缸直径 米;

$n$  —— 柴油机转速 转/分;

$p_s$  —— 柴油机进气管空气压力 公斤/厘米<sup>2</sup>;

$T_s$  —— 柴油机进气管空气温度  $^\circ \text{K}$ 。

上式适用于  $D = 135 \sim 600$  毫米,  $n = 300 \sim 2200$  转/分,  $p_e = 9.6 \sim 20$  公斤/厘米<sup>2</sup> 的四冲程柴油机, 并适用于脉冲、定压、复合或脉冲转换器等不同形式的增压系统, 有中冷器或无中冷器均可用。

对二冲程增压柴油机的  $\xi_T$  值, 可按下式求出,

筒式二冲程柴油机 ——  $S/D = 1.2 \sim 1.45$ ,

$$\xi_T = 1.13 - 0.00149 R_1 \quad (3.1.2.10)$$

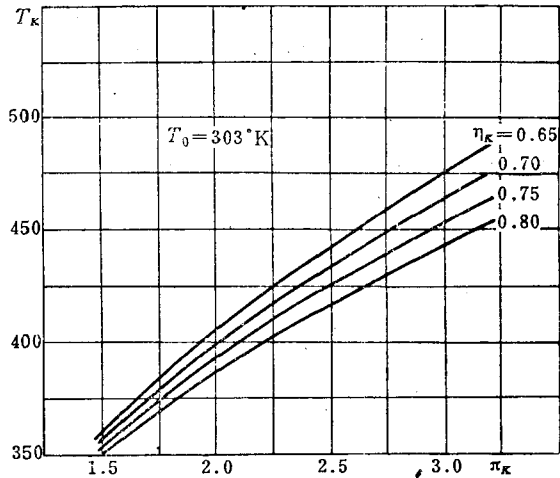


图 3.1.2.3  $T_K$  与  $\pi_K$  及  $\eta_K$  的关系曲线