

普通高等教育船舶类规划教材

柴油机增压及其优化控制

顾宏中 邬静川 编著

上海交通大学出版社

柴油机增压及其优化控制

顾宏中 邬静川 编著

上海交通大学出版社

(沪)新登字 205 号

内 容 提 要

本书主要介绍当代柴油机增压技术的几个主要方面:各种柴油机增压系统的特性;热力过程及一维定常流的计算;增压柴油机低工况性能及瞬态特性的改善;工作过程的优化设计;增压柴油机性能的优化控制和控制策略等。

本书可作为内燃机专业及热动力机械与装置专业相应课程的教材,也可作为有关专业硕士研究生的教材,同时可供工厂、研究所的工程技术人员参考。

柴油机增压及其优化控制

出版:上海交通大学出版社

(上海市华山路 1954 号)

邮政编码: 200030

发行: 新华书店上海发行所

印刷: 常熟文化印刷厂

开本: 787×1092 (毫米) 1/16

印张: 13.75 字数: 338000

版次: 1995 年 8 月 第 1 版

印次: 1995 年 8 月 第 1 次

印数: 1~1000

ISBN 7-313-01479-1/TK·037

定价: 8.10 元

出版说明

根据国务院国发(1978)23号文件批转试行的“关于高等学校教材编审出版若干问题的暂行规定”,中国船舶工业总公司负责全国高等学校船舶类专业教材编审、出版的组织工作。

为了做好这一工作,中国船舶工业总公司相应地成立了“船舶工程”、“船舶动力”两个教材委员会和“船电自动化”、“惯性导航及仪器”、“水声电子工程”、“液压”、“水中兵器”五个教材小组,聘请了有关院校的教授、专家60余人参加工作。船舶类专业教材委员会(小组)是有关船舶类专业教材建设的研究、指导、规划和评审方面的专家组织,其任务是做好高等学校船舶类专业教材的编审工作,为提高教材质量而努力。

在总结前三轮教材编审、出版工作的基础上,根据国家教委对“八·五”规划教材要“抓好重点教材,全面提高质量,适当发展品种,力争系统配套,完善管理体制,加强组织领导”的要求,船舶总公司于1991年又制定了《1991—1995年全国高等学校船舶类专业规划教材选题》。列入规划的选题共107种。

这批教材由各有关院校推荐,同行专家评阅,教材委员会(小组)评议,完稿后又经主审人审阅,教材委员会(小组)复审,然后分别由国防工业出版社、人民交通出版社以及有关高等学校的出版社出版。

为了不断地提高教材质量,希望使用教材的单位 and 广大师生提出宝贵意见。

中国船舶工业总公司教材编审室

1995年5月



顾宏中简介

顾宏中,上海交通大学教授、内燃机学科博士导师、动力机械研究所所长,上海铁道学院和山东工业大学兼职教授,兼任船舶动力教材委员会主任,中国造船学会常务理事、学术委员会副主任委员、轮机学术委员会主任委员、《中国造船》杂志编委副主任,中国内燃机学会常务理事、上海市内燃机学会理事长等。

40多年来一直从事内燃机性能的教学和科研工作,曾获1978年上海市先进科技工作者、1985年上海市优秀教育工作者和1993年全国教育系统劳动模范称号。

专著有:《船舶柴油机原理》,1960年后全国统编教材;《涡轮增压柴油机热力过程模拟计算》,获中船总公司优秀教材一等奖;《内燃机中的气体流动》,获上海交通大学优秀教材一等奖;合编的《柴油机增压及其性能优化》,获中船总公司优秀教材一等奖,国家教委优秀教材奖;《柴油机原理》。主编有:《柴油机工作过程》、《船用柴油机设计手册第三篇船用柴油机工作过程计算》等。多年来在国内外杂志及学术会议上发表学术论文140多篇。



邬 静 川 简 介

邬静川 上海交通大学教授,内燃机学科博士导师,全国海洋船舶标准化技术委员会船舶动力及系统标审组成员,中国内燃机学会 增压技术与增压器”学组副组长。

早年从事内燃机强度与振动方面的教学与科研工作。近10年来主要从事内燃机性能优化和优化控制方面研究与教学。先后完成国防科技应用等课题5项,获部级科技奖9项。合编出版的《柴油机增压及其性能优化》获中船总公司优秀教材一等奖、国家教委优秀教材奖。多年来在国内外杂志及学术会议上发表学术论文80余篇。

前 言

本书是根据1990年中国船舶总公司船舶动力教材委员会制订的“教学基本要求”，在1989年编著的《柴油机增压及其性能优化》(上海交通大学出版社)一书的基础上进行编写的。本书是内燃机学科硕士生学位课程的教材，也可作为热能动力机械专业及内燃机专业本科生相应课程的教材，并可供有关研究所及工厂的工程技术人员参考。

本书的主要内容是讲述当前柴油机增压技术的几个主要方面：柴油机增压系统的特性；热力过程及一维非定常流的计算；增压柴油机低工况性能及瞬态特性的改善；工作过程的优化设计；增压柴油机性能的优化控制和控制策略等。

书中引用了国内外近期所发表的研究成果，也反映了上海交通大学在柴油机增压技术、性能优化，不定常流动及优化控制等方面近10多年来的研究成果。

全书共分8章，第1、2、3、5、6、7章由顾宏中执笔，第4、8章由邬静川执笔。全书由上海工程技术大学葛贤康教授仔细审阅，并提出不少宝贵意见，在此深表谢意。最后全书由顾宏中审核定稿。

由于本书涉及面较广，作者水平有限，书中缺点错误在所难免，谨请阅读本书的师生及同行们批评指正。

编著者

1995年5月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 增压柴油机近期发展概况	2
1.2 增压柴油机性能优化控制	9
第 2 章 柴油机热力过程的模拟计算	15
2.1 工质成分、比热、绝热指数、分子量及气体常数	15
2.2 缸内热力过程计算	16
2.3 进排气系统热力过程计算	27
2.4 中冷器及涡轮增压器的计算	37
2.5 数值解法	43
第 3 章 内燃机中气体非定常流动及其计算	44
3.1 内燃机中气体非定常流动及其利用	44
3.2 一维非定常流动方程及其数值解	49
3.3 一维非定常流的计算实例	69
第 4 章 缸内和进排气系统工作过程优化	74
4.1 柴油机工作过程优化概述	74
4.2 缸内工作过程的优化组织	75
4.3 进排气系统工作过程的优化	86
4.4 柴油机工作过程性能的多目标优化	93
4.5 模糊数学规划的应用	104
第 5 章 增压柴油机部分负荷性能及其改进	108
5.1 概述	108
5.2 高增压四冲程柴油机部分负荷性能分析	109
5.3 改善部分负荷运行性能的措施	113
第 6 章 增压柴油机的瞬态特性	129
6.1 柴油机瞬态特性及其要求	129
6.2 瞬态特性模拟计算	132
6.3 影响瞬态特性的因素及其改进措施	140
第 7 章 涡轮增压柴油机的优化控制	149
7.1 优化控制概述	149
7.2 供油系统的优化控制	150
7.3 可变进气涡流	157
7.4 进排气正时的控制	158
7.5 增压系统的优化控制	161

第8章 增压柴油机电控系统和控制策略	173
8.1 电控系统	173
8.2 控制策略	181
参考文献	207

第1章 绪 论

由于70年代经历了两次石油危机,燃油价格上涨了10多倍。从那一时期以来,使用柴油机的各种动力装置的营运成本中,燃油所占的费用比例愈来愈大。因此,在过去的20年中,各柴油机制造厂及研究机构,都大力从事提高柴油机的热效率及开展各种余热利用的研究;在柴油机设计思想上也发生了某些变化,如把燃油消耗率列为最重要的考虑因素之一。与此同时,柴油机的增压程度愈来愈高,增压系统也愈来愈完善,并为适应低工况运行的要求,采取了各式各样的措施,已开始实现优化设计和优化控制。近年来排放的要求愈来愈严格,不仅对车用柴油机,而且对中速及低速机也提出了要求,这对降低燃油消耗率带来了困难。

柴油机工作者过去多年来的努力,使燃油消耗率大幅度地下降。图 1.1 为苏尔寿大缸径

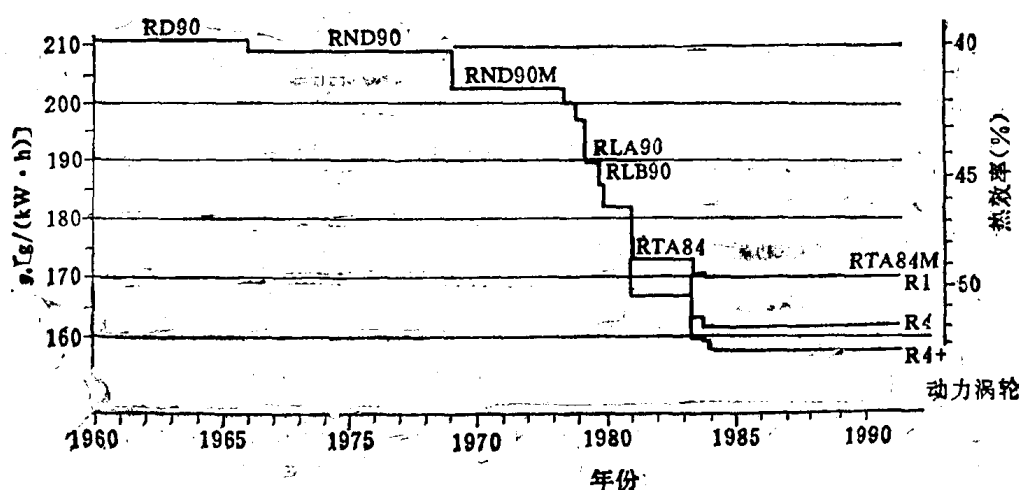


图1.1 苏尔寿R型柴油机在油耗方面的改进

低速机逐年来燃油消耗率下降的情况。大缸径低速二冲程柴油机的有效油耗率已降至 $154g/(kW \cdot h)$,相当于有效热效率为53%~54%,大缸径中速四冲程柴油机的有效油耗率已降低到 $160g/(kW \cdot h)$ 左右,接近低速机的水平。缸径250~300mm的中速机达 $170g/(kW \cdot h)$ 左右,高速大功率柴油机在 $180g/(kW \cdot h)$ 左右。

上述这些数据尚未计及排气与冷却水的余热利用。从这些数据看出,有效油耗率比20年前降低了20%左右。由于柴油机的热效率不断提高,其使用范围不断扩大:船舶动力装置中,使用柴油机作为动力的占95%以上。在车用范围内,装载车辆几乎都采用柴油机作为动力,并且正逐步进入小客车的使用领域。

柴油机是当今各种动力机械中热效率最高的一种,预计在今后10年内仍将保持这种优势。当前,柴油机工作者除积极开展降低排放、噪声及振动等工作,以满足环境保护的要求外,还将致力于进一步降低柴油机的有效油耗率和开展各种余热利用的工作,改进增压系统,在标定工况和部分工况下,进行优化设计和优化控制;使柴油机的运行性能更趋完善。

1.1 增压柴油机近期发展概况

下面对低、中、高速柴油机提高强载度及经济性能方面的进展作一简单介绍

1.1.1 低速柴油机

低速柴油机,一般指的是转速在250r/min以下的十字头式二冲程柴油机。在世界上,它从50年代的10个左右机型发展到现在,已逐步统一。目前,世界上主要是三大型号的低速柴油机系列,即MAN—B & W的MC系列、New Sulzer的RTA系列和三菱的UEC系列。从基本机型来说,三者很相近,都是二冲程单气阀单流换气,定压涡轮增压系统,长行程或超长行程, $S/D=3.0\sim 3.8$;缸径 $D=260\sim 900\text{mm}$;平均有效压力 $p_e=1.6\sim 1.85\text{MPa}$;扫气压力 $p_s=0.32\sim 0.36\text{MPa}$;有效油耗率 $g_e=163\sim 180\text{g}/(\text{kW}\cdot\text{h})$;最高爆发压力 $p_{\max}=13.5\sim 16.0\text{MPa}$ 。表1.1列出了MAN—B & W的MC系列各型柴油机的基本参数。

我国对低速柴油机的发展,拟开发一个船用低速柴油机的系列。已生产的一种小缸径低速柴油机, $D=340\text{mm}$, $S=820\text{mm}$, $S/D=2.41$, $p_e=1.64\text{MPa}$, $n=205\text{r/min}$, $p_{\max}=13.0\text{MPa}$, $g_e=185\text{g}/(\text{kW}\cdot\text{h})$,单缸功率为417kW。满足3000~7000吨船舶的需要。第二档小缸径的低速机也将生产, $D=430\text{mm}$, $S=1400\text{mm}$, $S/D=3.26$, $n=160\text{r/min}$, $p_e=1.63\text{MPa}$, $p_{\max}=13.0\text{MPa}$, $g_e=178\text{g}/(\text{kW}\cdot\text{h})$,单缸功率为882kW,以满足20000吨级以下船舶的需要。

从提高低速机热效率的角度来说,主要是采取了以下几方面的措施来达到的。

1) 合理选择工作过程参数,提高循环热效率,采用较高的压缩比(有效压缩比达14以上),提高气缸爆发压力,使 $p_{\max}$ 达14MPa以上。还采用大的燃烧过量空气系数 α , α 为2.4~2.5。这样高的压缩比和较大的 α ,又采用高的喷油压力(最大喷油压力可达90MPa以上),因此燃烧很完善,燃烧持续期只有40°曲轴转角左右。为了限制爆发压力,使燃烧在上止点前1°左右开始,燃烧放热规律曲线的形态如一等腰三角形,采用这些措施所组织的燃烧过程,接近等压燃烧,在压缩终点压力 p_c 为13.0MPa时,最大爆发压力 $p_{\max}$ 为14.0MPa左右,燃烧比较平稳,且循环热效率较高。因为它不仅采用了高的有效压缩比,而且排气阀开的角度(如下止点前68°曲轴转角)比排气阀关(即压缩始点)的角度(如下止点后78°曲轴转角)迟,即缸内膨胀比较压缩比大,故有利于提高循环热效率。在大的 α 的情况下,使燃烧、膨胀及排气阶段的缸内气体温度较低,缸内气体最高温度 $T_{\max}$ 约为1600K。因此,缸壁散热的冷却损失大为减少,即使在较小缸径的低速柴油机(如 $D=350\text{mm}$)中,气缸冷却损失也只占燃油热量的6%左右。前面提到,用大的 α 及排气阀迟后关,使排气阀处扫气混合气体更多一些往外流出,能提高扫气效率,但使涡轮前的废气温度 t_T 较低,在标定工况时, t_T 为380℃左右,为了满足扫气压差及进气量的要求,需采用 η_{TK} 较高的涡轮增压器, η_{TK} 一般在60%以上,所以涡轮增压器随着柴油机的发展不断发展和提高,如VTR4E系列中大型号的VTR4E的 η_{TK} 可达75%。

2) 提高机械效率,由于 p_e 不断提高, S/D 较大,可采用较低的转速,同时低速柴油机本身不带滑油、冷却水泵附件,因此 η_m 可达93%~94%以上。

3) 提高低工况时的热效率,采用可变喷油正时(VIT)油泵,使各负荷下燃烧始点几乎不变,以提高其循环热效率。并且,当以经济功率作为标定功率时,使 $p_{\max}$ 保持与最大功率时一样

表 1.1 MAN—B&W MC系列各型柴油机基本参数

型 号	S28MC	L35MC	L42MC	L50MC	S50MC	L60MC
$D(\text{mm})$	260	350	420	500	500	600
S/D	3.77	3.00	3.73	3.24	3.82	3.24
$n(\text{r/min})$	250	210	176	148	127	123
$p_0(\text{MPa})$	1.85	1.84	1.80	1.70	1.80	1.70
$C_m(\text{m/s})$	8.2	7.35	8.00	8.00	8.10	8.00
$p_{max}(\text{MPa})$	17.0	14.5	14.5	14.0	14.0	14.0
$g_0[\text{g}/(\text{kW} \cdot \text{h})]$	179	177	177	175	174	174
$N_e/\text{Cyl}(\text{kW})$	400	647	993	1331	1427	1912

型 号	S60MC	L70MC	S70MC	L80MC	S80MC	L90MC
$D(\text{mm})$	600	700	700	800	800	900
S/D	3.82	3.24	3.82	3.24	3.82	3.24
$n(\text{r/min})$	105	106	91	93	79	82
$p_0(\text{MPa})$	1.80	1.70	1.80	1.70	1.80	1.70
$C_m(\text{m/s})$	8.00	7.94	8.10	8.00	8.05	8.00
$p_{max}(\text{MPa})$	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0
$g_0[\text{g}/(\text{kW} \cdot \text{h})]$	173	173	171	173	169	171
$N_e/\text{Cyl}(\text{kW})$	2044	2618	2809	3434	3540	4309

以使循环热效率更高。

4) 在缸径大于500mm的低速柴油机中, η_{TK} 可大于68%,这时,可以配用动力涡轮,即在排气管中引出10%左右的废气量带动一个动力涡轮,通过行星式减速齿轮及液力耦合器,再与柴油机上用于轴带发电机的功率输出装置(PTO)联接,把动力涡轮的功率输给柴油机,在100%至55%标定功率时,可使柴油机的有效油耗率降低5.5—2.5g/(kW·h);在55%标定功率以下时,关掉废气进入动力涡轮的旁通路,即不使用动力涡轮,但由于排气管总的出流通流截面积减小,使涡轮前废气压力 p_T 增大,扫气压力 p_s 增加,增大气流量,改进了燃烧,使 g_0 也可降低4~2.5g/(kW·h),使全工况性能都得到改善。但由于动力涡轮装置的初投资较高,

从经济性看得益不明显,因此,当前使用较少。

5) 涡轮后废气热量的利用。对低速船用柴油机来说,在涡轮出口后均装有废热锅炉,虽然涡轮出口的废气温度较低,在全负荷时约在 $270\sim 280^{\circ}\text{C}$ 左右。但废热锅炉的出口废气温度目前可做到低达 $160\sim 170^{\circ}\text{C}$,锅炉蒸汽若用于发电,进行能量回收,可提高装置热效率10%左右。若不计锅炉排出的废气能量的利用,则整个柴油机加上废热锅炉系统的总的有效热效率可达60%左右,也就是说, g_e 达 $140\text{g}/(\text{kW}\cdot\text{h})$ 左右。

1.1.2 中速柴油机

当前在世界上生产的中速柴油机主要用于船舶推进及各种电站,绝大多数是四冲程高增压通用机型。目前中速柴油机的转速、缸径范围很宽,结构花样繁多。目前较先进的中速柴油机,其平均有效压力 p_e 一般都在 $2.1\sim 2.5\text{MPa}$,最大爆发压力 p_{max} 一般在 $13.0\sim 18.0\text{MPa}$ 。最高喷油压力 p_{inj} 在 $100\sim 150\text{MPa}$,最高的达 200MPa ,有效油耗率为 $170\sim 185\text{g}/(\text{kW}\cdot\text{h})$ 。表1.2列出了较先进的中速柴油机参数。

提高各工况下经济性的措施,世界各国的研究机构和制造厂的想法也逐步趋于一致,这也反映了柴油机本身的特性,其主要的措施如下:

1) 提高最大爆发压力、改进燃烧及提高循环热效率。在中速柴油机中,一般采用缸内无涡流或小涡流以减少缸内流动损失及传热损失。为了改进燃烧,采用高的喷射压力,以保证油气混合好,并及时燃烧,从表1.2中可看出, p_{inj} 高达 $130\sim 200\text{MPa}$ 。

2) 用大一些的 S/D ,一方面可降低转速,加长循环周期,并可缩短燃烧持续角;另一方面使燃烧室相对高度增大,当采用大一些的压缩比时,可避免燃油束碰壁而影响燃烧。此外压缩比提高以后,可使燃烧后期发出的热量的热利用率提高。如Sulzer的ZA40S四冲程高增压柴油机,缸径为 400mm ,活塞行程由原来的 480mm 提高到 560mm ,以增大压缩比。又如SEMT的PC2—5的行程从原来的 460mm ,加长到 550mm (PO20机型),而压缩比由原来的11.5提高到13.4,PC20E(经济型)的压缩比为14.4。在压缩比提高后,再把燃烧始点靠近上止点。采用这样的一些措施后,使燃烧过程与低速机中的相近,燃烧放热率曲线的形态也近于等腰三角形,燃烧持续期也只有 40° 曲轴转角左右,这样使 p_{max} 不致太高,一般可限制在 $14.5\sim 16.0\text{MPa}$ 以内,但热效率可以提高,

3) 在增压系统上愈来愈多地采用兼顾高工况和低工况、稳态和瞬态性能的模式单排气总管增压系统,简称MSEM增压系统,如图1.2所示,包括MPC系统、长排气支管系统,旋流排气管系统,组合式长支管系统等。

MSEM系统具有结构简单、体积小、适宜于系列化生产,涡轮前压力波动小,涡轮效率高,兼有定压和脉冲系统的优点,高、低工况性能均优,瞬态响应快等较多优点,今后将会使用更广。

4) 由于增压程度愈来愈高,以往在高速车用增压柴油机上所采用的一些改进低工况性能的措施,现已用到中速高增压柴油机上,如燃烧始角自动调整措施,在中速柴油机上,有些是用油泵柱塞斜槽的形态来控制,如ZA40S柴油机;有些是用油泵凸轮上的滚轮移位来控制,如MAN—B&W58/64等柴油机;如进排气旁通系统,即把进气管中一部分增压空气通过旁通阀进入涡轮前的排气管,如PC20中速柴油机,按螺旋桨推进特性运行,在15%~60%负荷时,旁通阀打开,使涡轮增压器的气流量增大20%左右。这样不仅可防止增压器喘振,而

表 1.2 国内外较先进的中速柴油机基本参数表

工 厂	MAN —B&W	MAN —B&W	SEMT	SEMT	Warsilla	Warsilla	Warsilla	Sulzer
机 型	L48/60	L58/64	PC30	PC40	VASA46	VASA22	VASA32	ZA40S
$D(\text{mm})$	480	580	425	570	460	220	320	400
$S(\text{mm})$	600	640	600	750	580	260	350	560
$n(\text{r/min})$	450	428	450	375	450	1000	750	500
$p_s(\text{MPa})$	2.17	2.19	2.31	2.22	2.50	2.19	2.13	2.41
$C_m(\text{m/s})$	9.0	9.1	9.0	9.4	8.7	8.7	8.75	9.3
$p_{\max}(\text{MPa})$	16.0	14.5	18.0	15.5	18.0			15.5
$p_{12}(\text{MPa})$	130	130	180	130	200			
$g_s[\text{g}/(\text{kW} \cdot \text{h})]$	169	167	170	168	169	195	181	185
$N_e/\text{Cyl}(\text{kW})$	885	1325	736	1325	905	180	410	550
工 厂	SEMT	Stork	Niigata	Hashin	Hashin	Daibatsn	AkasAka	Yammer
机 型	PC2-6	F240	M28HT	LX36L	6H28L	6DK20	E28	6N280EN
$D(\text{mm})$	400	240	240	360	280	200	280	280
$S(\text{mm})$	460	260	480	670	530	300	480	380
$n(\text{r/min})$	520	1000	420	320	380	700	440	720
$p_s(\text{MPa})$	2.20	2.03	1.97	2.31	1.94	2.06	2.3	2.18
$C_m(\text{m/s})$	7.97	8.7	6.72	7.15	6.71	7.2	7.04	9.12
$p_{\max}(\text{MPa})$	15.0	15.0	15.0	17.0	15.0	17.0	17.0	15.2
$p_{12}(\text{MPa})$							140	147
$g_s[\text{g}/(\text{kW} \cdot \text{h})]$	186	188	182	174	182	190	181	189
$N_e/\text{Cyl}(\text{kW})$	550	185	196		196	116	245	306

且使 η_K 和 η_T 提高,使增压压力提高0.02MPa左右,使燃烧过量空气系数 α 增大,改善燃烧。不少高增压四冲程柴油机即使按螺旋桨推进特性运行时,在30%~50%负荷时, α 将要降低,甚至低于1.6~1.7以下,超过了保证燃烧完善的 α 的最低限。如ZA40S中速机,在60%负荷以下,打开旁通阀,以提高低工况经济性,已作为一种标准机型。在PA6—280BTC二级涡轮超高增

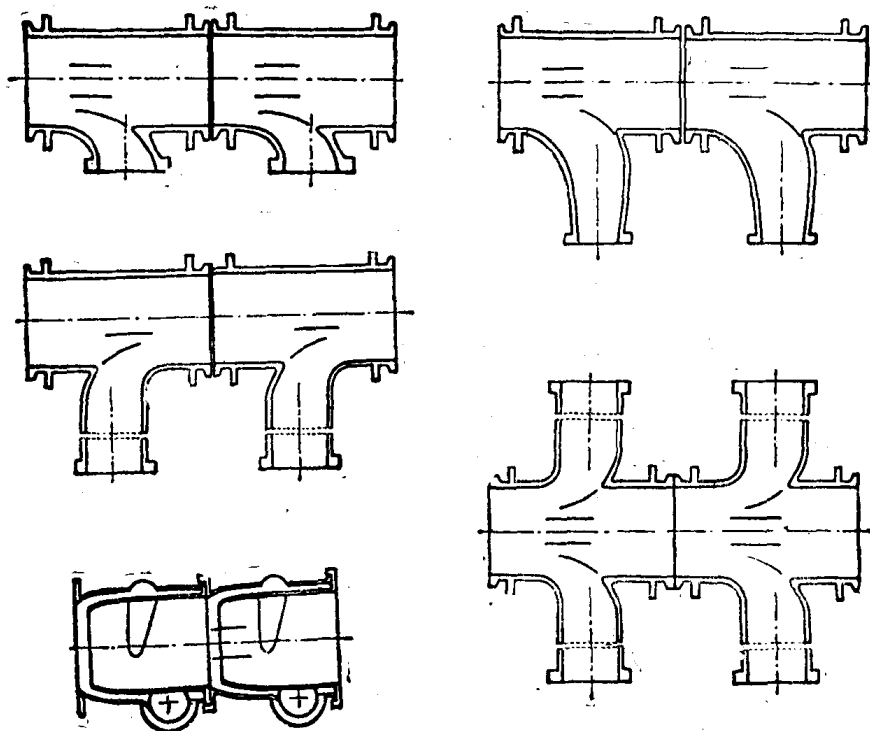


图1.2 MSEM增压系统

压柴油机中, $p_s = 2.64\text{MPa}$,当要求该机在 $n < 0.85n_N$ 时(n_N 为标定转速)具有大的扭矩时,可以选用进排气旁通系统,该旁通管接在高压级进排气管中。

另外有一种改进低速扭矩的措施是把涡轮前废气在高工况时旁通入大气的方法。这样,涡轮增压器的匹配点选在低工况区,在高工况时,为了不致使增压压力太高,以致 p_{max} 太高,而采用放气。在中速机中,通常是放增压空气,这样放气阀较干净,温度较低,不易引起故障。在PC20和ZA40S中速机中,当负荷在85%以上时,打开增压空气放气阀放气,这一措施使低工况时,增压压力可提高0.03~0.04MPa,在ZA40S中速机中是作为一个任意选用的措施,视用途选用。在PC30及PC40中速机中,上述旁通和放气的两个措施是同时采用的。但在VASA 46中速机中,则用陶瓷放气阀在高负荷时放排气,以改进低负荷性能。

为了改善低工况性能,如PC20,PC30,PC40等中速机,在小于50%负荷以后,使气缸冷却水出口温度由80~85℃提高到90~95℃,并在小于35%负荷以后,使进入中冷器后出来的空气温度从40~50℃提高到70~80℃,以提高低工况燃烧性能,特别是在烧重油时。

5) 用变截面涡轮来提高低工况性能,它们的缺点是价格较贵,因此在中速机中用得较少。

6) 采用动力涡轮来降低有效油耗率。这比低速二冲程机更有效,因排温较高,如在PC30L, PC40L, ZA40S, MAK M601等大缸径中速机中都有采用,使 g_e 降低4.5~6.0g/(kW·h),

但同样是由于初投资较高,近来用得不多。

上面介绍了目前国际上中速柴油机的发展,我国引进生产或自行研制的一些较先进的中速柴油机,平均有效压力一般在 $p_e = 1.8 \sim 2.0 \text{ MPa}$,有效油耗率 $g_e = 185 \sim 210 \text{ g/(kW} \cdot \text{h)}$,缸径在300mm以下,与国际先进水平尚有一定差距。

1.1.3 高速柴油机

高速柴油机根据其用途及特点基本上分为两大类。一类是为导弹艇,高速艇及机车等用途而开发的,是大功率高增压或超高增压四冲程柴油机,如表1.3为有代表性的几种。由于运行是按功率为转速的三次方或近二次方特性运行,一些超高增压机型, p_e 约3.0MPa,这些柴油机主要是要求强载。为了提高低工况性能,采用了相继涡轮增压,二级涡轮增压补燃,密勒系统等,为了在如此低的压缩比下保证起动,采用了充量转换系统、低工况进气加热,或密勒系统等措施。

另一类高速柴油机是 p_e 稍低的车用涡轮增压柴油机,要满足外特性运行要求,尚需采取各种措施。因此平均有效压力,一般在1.7MPa以下,较多处于低增压和中增压程度,如表1.4所示。这类柴油机经济性要求高,也采用高的喷油压力及高的最大爆发压力。近几年来车用柴油机的发展主要是直喷化,增压化,电子控制及优化工作过程等,这些都与降低 g_e 及控制排放有关。

1.1.4 涡轮增压器的发展

随着柴油机增压程度的不断提高,中间冷却带走的热量愈来愈大,要求涡轮增压器的效率 η_{TK} 相应提高,否则就不能满足高增压柴油机的要求,因此随着涡轮增压器的压比的提高, η_{TK} 也不断提高。对通流部分的设计精益求精。图1.3示出了ABB公司的VTR涡轮增压器。从50年代的VTR0系列 $\eta_{TK} = 55\%$ 左右到90年代的VTR4E系列, $\eta_{TK} = 70\%$ 以上,最大一型的VTR4E涡轮增压器 η_{TK} 近75%,而且近来为了满足90年代四冲程柴油机 $p_e = 2.4 \sim 2.8 \text{ MPa}$ 单级增压的需要,开发了VTR4P系列,使压比 π_K 达到5。同时为了满足中、高速中等功率的高增压柴油机的需要,径流式涡轮增压器的总效率 η_{TK} 也不断提高,见图1.3(b),图中RR151系列为混

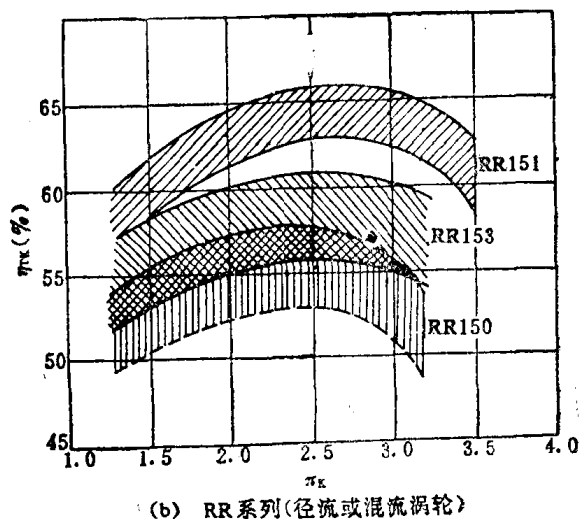
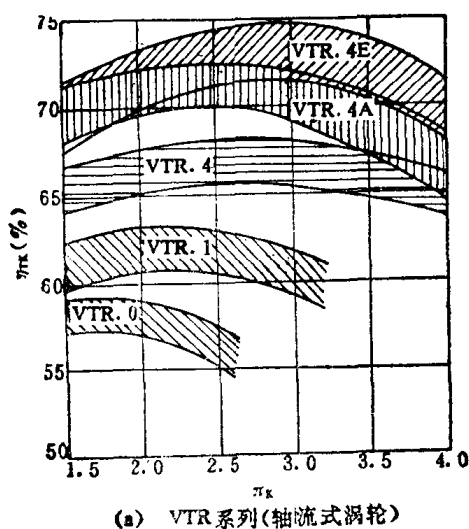


图1.3 涡轮增压器效率提高的比较

表 1.3 部分国外大功率四冲程高增压高速柴油机基本参数

公 司	机 型	D (mm)	S (mm)	n (r/min)	p_o (MPa)	C_m (m/s)	p_{max} (MPa)	p_{inj} (MPa)	g_o [g/(kW·h)]	N_e/Cyl (kW)
DeutzMWM	MWM632	240	320	1200	2.4	12.8	18			350
	TBD234	128	140	2100	1.56	9.8	14.5		201	50
Hedemora	VB	210	210	1700	2.2	11.9			238	222
Mirrless	MB190	190	210	1500	2.0	10.5			202	149
MTU	396	165	185	2100	2.31	12.9	15.5			160
	538	185	200	1900	2.42	12.7				206
	595	190	210	1800	3.02	12.6	18.0	150	222	270
	956-03	230	230	1500	2.88	11.5				
	1163-03	230	230	1300	2.94	12.1	15.0	150	212	370
Paxman	VALENTA	197	216	1640	2.26	11.81			228	203
	12VP185	185	190	1950	2.53	12.35				217
SACM	UD33	195	180	1800	2.43	10.8			211	202
	UD45	240	220	1500	2.31	11.0	14.0		212	283
SEMT	PA4-200	200	210	1500	2.23	10.5	14.0		227	184
	VGDS									
Niigata	11V16FX	165	185	1995	2.10	12.3			217	142

表 1.4 小缸径涡轮增压柴油机基本参数

公 司	机 型	D (mm)	S (mm)	n (r/min)	p_o (MPa)	C_m (m/s)	g_o g/(kW·h)	N_e/Cyl (kW)	备 注
	XAV-28	150	130	2600	1.84	11.44	195	91.9	坦克用
MTU	MT883	144	140	3000	1.61	14.0	220	91.9	坦克用
MWM	TBD234	128	140	2300	1.96	10.7	210	67.5	坦克用
	V12-1500	135	152	2300	2.2	11.65	222	91.9	坦克用
PerKins	UDV8×1500	142	130	2500	2.2	10.83	230	91.5	坦克用
SteyL	WD615 67/77	126	130	2400	1.38	10.4	230	34.3	车用
Cummins	C8.3	114	135	2200	1.013	9.9	214	34.2	车用
ISUZU	6SD1	120	145	2200	1.3	10.6	220	39	车用
Detroit	6.7LTA	109	121	2600	1.185	10.49	253	28.7	通用中冷
	7.6LA	109	136	2400	1.349	10.84	253	34.2	同上
	8.7LTA	117	136	2000	1.545	9.07	244	50.0	同上
Peugeot	XUD7TE	80	88	4300	1.023	12.60	290	16.2	涡流式燃烧室
	XUD9TE	83	88	4000	1.063	11.73	285	16.9	同上
	XUD11TE	85	92	4300	1.042	13.18	290	19.5	同上
HINO	WO6D-T1	104	113	3000	1.29	11.30	224	31.0	游艇, 中冷
	WO6C-T1	104	113	3000	1.167	11.30	232	28.0	同上
	HO6C-T1	108	118	2700	1.083	10.62	235	26.3	同上
	PO9B-T1	117.8	130	2300	2.19	9.97	225	59.5	船用, 中冷
DEERE	6076H	116	121	2200	1.471	8.87	203	34.2	中冷
	6359A	106.5	110	2500	1.066	9.17	220	21.8	中冷