

船舶柴油机 的进展与节能

马春霆 张颖耐 编

国防工业出版社

船舶
PDC

U664.121

1404

352159

船舶柴油机的 进展与节能

马春霆 张颖耐 编

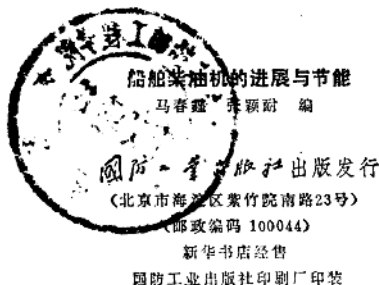


国防工业出版社

内 容 简 介

本书较全面系统地叙述了船舶柴油机的进展情况和节能原理及措施。全书共分三篇二十四章，其主要内容：船舶柴油机及其有关部分的现状和发展动向，提高各种类型船舶柴油机热效率的问题，即降低燃料消耗率的问题，各种节能型船舶柴油机装置和节能技术。

本书可供从事柴油机和船舶动力装置方面的工程技术人员以及运行管理人员使用，亦可供大专院校有关专业师生参考。



850×1168 1/32 印张 12³/₈ 325千字

1991年8月第一版 1991年8月第一次印刷 印数：0,001—1,000册

ISBN 7-118-00664-5/U·58 定价：10.10元

前 言

随着我国造船工业和海运事业的不断发展,我国各船队动力装置的燃料消耗与日俱增。目前,我国的大多数船舶动力采用了柴油机动力装置,其节能研究已成为重要课题。因此,我国各海运局、船队、船舶研究所及有关单位都在研究柴油机动力装置的节能技术。

本书介绍了船舶柴油机的进展情况及各种类型船舶柴油机热效率的提高问题,以及多种节能型船舶柴油机动力装置和节能措施。

由于编者水平所限,错误之处在所难免,敬希读者批评指正。

编 者

目 录

第一篇 船舶柴油机的进展

第一章 船舶柴油机的现状	1
第一节 概述	1
第二节 各种船舶柴油机的现状	1
第三节 增压技术的进展	8
第四节 燃油消耗率的降低	10
第五节 其他方面的情况	13
第二章 船舶大中型柴油机的发展动向	18
第一节 概述	18
第二节 二冲程低速柴油机的发展动向	19
第三节 四冲程柴油机的发展动向	32
第四节 主要的技术动向	36
第三章 大型低速长行程柴油机	42
第一节 概述	42
第二节 主要指标与外形尺寸	43
第三节 主要部分的构造	47
第四节 柴油机性能	58
第四章 操纵系统	63
第一节 概述	63
第二节 柴油机操纵系统的进展	64
第三节 现代的操纵系统	70
第五章 油压驱动排气阀	82
第一节 概述	82
第二节 油压驱动排气阀的采用	82

第三节	油压驱动排气阀的构造	84
第四节	油压驱动排气阀的特性	84
第五节	实际使用情况	89
第六章	主机长期不开放运行	91
第一节	概述	91
第二节	长期不开放运行的实例	92
第三节	实行长期不开放的注意事项	94
第四节	运行的实际情况	101
第七章	辅助机械进展概论	108
第一节	概述	108
第二节	增压器	109
第三节	燃料和润滑油的管理	109
第四节	排气废热锅炉	110
第五节	齿轮减速装置及其他	111
第六节	监测系统	112
第八章	国际船用燃油规格标准化	114
第一节	概述	114
第二节	船用燃油规格标准草案的制定	115
第三节	国际船用燃油规格标准审议过程	117
第四节	国际标准化组织的船用燃料油分类法	123
第五节	对国际船用燃油规格标准的评述	125
第九章	船用燃料油的动向	128
第一节	概述	128
第二节	石油系能源以及代替能源	129
第三节	船用燃料油性质的变化	132
第四节	低质燃油的燃烧对策	133
第五节	石油系以外的燃料	138
第十章	船用润滑油的动向	140
第一节	概述	140
第二节	气缸油的要求性能	140
第三节	缸套与活塞环异常磨损同气缸油的关系	143
第四节	气缸油的动向	146

第二篇 提高柴油机热效率

第十一章	提高柴油机热效率概论	149
第一节	概述	149
第二节	提高柴油机热效率的方法	150
第三节	低质燃料的使用	153
第十二章	改进燃料喷射和燃烧以提高柴油机热效率	156
第一节	概述	156
第二节	燃料喷射	156
第三节	燃烧	164
第十三章	提高大型低速柴油机的热效率	173
第一节	概述	173
第二节	提高热效率的经过	173
第三节	提高热效率的方法	178
第四节	提高热效率的今后展望	194
第十四章	提高大型中速柴油机的热效率	206
第一节	概述	206
第二节	降低燃料消耗率和提高功率的经过	207
第三节	降低燃料消耗率的方法	208
第四节	超劣质重油的燃烧	220
第五节	将来的展望	223
第十五章	提高中型中速柴油机的热效率	226
第一节	概述	226
第二节	提高热效率的因素和方法	227
第三节	提高循环热效率	229
第四节	改善缸内循环	230
第五节	提高机械效率	238
第十六章	提高小型高速柴油机的热效率	240
第一节	概述	240
第二节	小型高速柴油机的热效率与燃烧	240
第三节	直接喷射式柴油机	243
第四节	直接喷射式的一些问题	251

第五节	副室式柴油机	255
第六节	增压式柴油机	258
第七节	提高机械效率	260
第八节	新技术	261
第十七章	减小摩擦损失以提高热效率	263
第一节	概述	263
第二节	机械损失的定义与测定法	263
第三节	利用马达拖动法的测定实例	267
第四节	活塞摩擦力的测定	270
第五节	摩擦损失特性的理论	275
第六节	减小机械损失的对策	282

第三篇 船舶柴油机节能装置与措施

第十八章	柴油机装置节能概论	287
第一节	概述	287
第二节	节能型柴油机装置的效率	287
第三节	缩小机舱容积	289
第四节	改善柴油机及有关设备的效率	290
第五节	新型发动机	291
第十九章	IHI最新型船舶推进装置	293
第一节	概述	293
第二节	“友谊”型货船的介绍	293
第三节	60 型油轮的介绍	298
第二十章	KSE 节能型船舶动力装置	302
第一节	概述	302
第二节	KSE 装置的介绍	302
第三节	“ALAMO”号柴油机船的介绍	310
第二十一章	双体式柴油机的节能系统	315
第一节	概述	315
第二节	对节能系统的考虑方法	315
第三节	双体式柴油机	316
第四节	日立造船式低燃料消耗船	326

第二十二章 D-MAP 高经济性推进装置	328
第一节 概述	328
第二节 D-MAP 装置的概要	328
第三节 D-MAP 装置的经济性试算	340
第四节 D-MAP 装置的可靠性	340
第二十三章 CSG 定周波发电装置	342
第一节 概述	342
第二节 CS 联轴器的动作原理和速度控制	342
第三节 组成与构造	345
第四节 水冷式CSG装置的冷却空气和冷却水的路径及管路系统	349
第五节 CSG装置的特点	351
第二十四章 减速运行	356
第一节 概述	356
第二节 减速运行的注意事项	357
第三节 减速运行的情况	359
第四节 减速运行的问题与对策	364
第五节 减速运行实例	376

第一篇 船舶柴油机的进展

第一章 船舶柴油机的现状

第一节 概 述

自从 1892 年德国人狄赛尔 (R. Diesel) 提出了柴油机的工作原理并在 1898 年德国曼恩 (MAN) 公司首先制成了一台四冲程柴油机之后, 迄今已有 90 年的历史。在此期间内, 柴油机又经过了几次重大的技术改革, 例如从空气喷射式过渡到无气喷射式以及利用柴油机本身的排气带动废气涡轮进行增压和燃用重油的成功等, 使得柴油机在船舶上作为主机的地位占了绝对优势。这主要是因为柴油机具有经济性高、工作安全可靠、机动操纵和维修管理简单容易等一系列优点。

在船舶上, 各种类型的柴油机都有广泛的应用, 根据有关部门的统计资料表明, 就载重吨在 2000 t 以上的民用商船而论, 1980 年世界上完工的船舶主机中, 低速柴油机的总功率占各类主机总功率的 58.45%, 中高速柴油机占 33.05%, 总计柴油机共占 91.5%。到 1981 年, 完工的低速柴油机的总功率占各类主机总功率的 71%, 中高速柴油机占 24%, 总计柴油机共占 95%。由此可见, 作为船舶推进用的主机, 除极少数巨型船舶和特殊用途的船舶外, 绝大多数都是采用柴油机的, 而且其所占的比例逐年还有所增加。

就世界上目前的情况来说, 从小型到大中型的各种船舶柴油机都有生产, 所以这里将介绍世界上各主要厂家目前正在生产制造的具有代表性的一些船舶柴油机的现状。特别要介绍它们的技术进步以及各自的技术特征。这里也将从节能的观点对某些柴油机所采用的技术措施加以介绍, 同时对船舶柴油机的进展情况

也将作些简要介绍。

从船舶柴油机的发展历程可以看出，常常是为了适应当时所建造的船舶的需要，作为主机的柴油机就不断的发生变化，可以说这种变化主要是为了提高船舶的经济性而努力进行配合的结果。最近当然更不用说，为了提高强化系数和提高耐久性，船舶柴油机一直处在发展变化之中。作为一个明显的动向，首先是提高全船的经济性问题，其中也包括提高柴油机本身热效率和如何处理对待未来燃油日益低质化的问题以及为此将采取什么样的技术措施的问题。下面将按不同类型分别介绍各种船舶柴油机的现状。

第二节 各种船舶柴油机的现状

一、低速中小型直接连结式柴油机（筒塞式）

所谓直接连结式是指柴油机不需要通过减速装置而直接与螺旋桨相联结的一种型式。这种型式的柴油机在世界各国从很早以来就有所发展，机种也多。由于高增压化的结果，这类柴油机的尺寸缩小了，重量减轻了，并且装配了油压式换向装置，从而达到了省力化。在降低燃油和滑油的消耗方面也进行了研究工作。

表1-1 四冲程低速中小型直接连结式柴油机实例

缸径/行程 mm/mm	转速 rpm	功率		缸数	单缸功率		平均有效压力		活塞平均速度 m/s
		kW	PS		kW	PS	bar	kg/cm ²	
230/380	420	551.62	750	6	91.9	125.0	16.64	16.97	5.32
245/470	420	882.60	1200	6	147.1	200.0	18.97	19.34	6.58
250/410	395	693.72	950	6	116.5	159.3	17.53	17.93	5.40
260/440	400	882.60	1200	6	147.1	200.0	18.89	19.26	5.87
280/480	395	1176.30	1600	6	196.1	266.7	20.16	20.56	6.32
300/480	375	1176.30	1600	6	196.1	266.7	18.50	18.86	6.00
330/500	350	1323.90	1800	6	220.6	300.0	17.69	18.04	5.83
340/520	330	1471.00	2000	6	245.2	333.0	18.89	19.26	5.72
370/540	330	1691.65	2300	6	281.9	383.3	17.66	18.01	5.94
380/600	310	1838.75	2500	6	306.5	416.7	17.44	17.78	6.20
550/980	175	7355.00	10000	14 V	525.4	714.3	15.47	15.78	5.72

由于这类柴油机不设减速装置和保养检修费用低以及机舱噪音小, 所以尽管同等功率的中高速齿轮减速式柴油机的势力增大, 但它们依然有很大的需要量。表 1-1 示出低速中小型直接连结式柴油机的一些实例。这种型式的柴油机都是四冲程的。

近来, 为了同中速中型高功率柴油机的出现相对抗, 这种低速中型的直接连结式柴油机也逐渐制成为大功率的机型, 采用二个进气阀和一个排气阀, 构成三阀式。平均有效压力 p_e 达到 $19 \sim 20 \text{ kg/cm}^2 (18.63 \sim 19.61 \text{ bar})$ 。也生产出气缸直径 D 达到 $500 \sim 550 \text{ mm}$ 的柴油机。有的气缸直径 D 已达 550 mm , 为了保持经济性, 平均有效压力 p_e 保持在 $16 \text{ kg/cm}^2 (15.690 \text{ bar})$ 左右的低水平上, 而具有可靠性高的特点。

最近又研制了进排气阀用油压驱动的一种新机型, 在机构得到简化的同时, 进排气阀的开关时刻在运行中可以自由变更, 所以不论负荷大小, 发动机均能在最佳条件下工作, 亦能有效地减小排气污染和噪声等的公害。

二、中高速中小型齿轮减速式柴油机 (筒塞式)

这种柴油机原来很适用于渡船和渔船等, 后来也开始用于普通货船、集装箱船以及油船。由于所占机舱容积和重量都非常小, 而且过去对这种柴油机在耐久性和保养检修费用方面的担心在实践中也逐渐得到消除, 所以其应用范围日益扩大, 甚至打入了以往低速大中型直接连结式柴油机的领域内, 而呈现出活跃兴旺的局面。表 1-2 示出 $D = 100 \sim 300 \text{ mm}$ 的中高速小型齿轮减速式柴油机的实例。

由于在高速柴油机上也采用了增压技术, 致使单机功率和平均有效压力都得到提高。平均有效压力在 50 年代为 $10 \sim 13.5 \text{ kg/cm}^2 (9.81 \sim 13.24 \text{ bar})$, 60 年代达 $19.8 \text{ kg/cm}^2 (19.42 \text{ bar})$, 70 年代已达 $22 \text{ kg/cm}^2 (21.57 \text{ bar})$, 目前在试验的机型上已达 $25 \sim 35 \text{ kg/cm}^2 (24.52 \sim 34.32 \text{ bar})$ 。强化系数 $p_e \cdot c_m$ 有的已达 $251 \text{ kg} \cdot \text{m/cm}^2 \cdot \text{s}$ 。燃油消耗率目前为 $155 \sim 165 \text{ g/PS} \cdot \text{h} (210.65 \sim 224.24 \text{ g/kW} \cdot \text{h})$ 。每马力的重量有的已达 2.51 kg/PS 。

表1-2 中高速小型齿轮减速式柴油机实例

缸径/行程 mm/mm	转速 rpm	功 率		缸 数	单缸功率		平均有效压力		活塞平 均速度 m/s
		kW	PS		kW	PS	bar	kg/cm ²	
105/113	2600	72.1	98	6	12.0	16.3	5.67	5.78	9.79
135/160	1800	220.7	300	6	36.8	50.0	10.71	10.92	9.60
160/200	1450	367.8	500	6	61.3	83.3	12.61	12.86	9.67
200/260	860	588.4	800	6	98.1	133.3	16.75	17.08	7.45
250/320	750	1029.7	1400	6	171.6	233.3	17.49	17.83	8.00
275/320	750	1176.8	1600	6	196.1	266.7	16.51	16.84	8.00
320/380	600	1544.6	2100	6	257.4	350.0	16.85	17.18	7.60

近十几年来,中速柴油机发展很快,这主要是由于燃用重油得到解决,从而提高了经济性的结果。四冲程中速柴油机的单缸功率目前最大1800PS(1323.9kW),不久可达2000PS(1471kW)。平均有效压力 p_e 已达21~26kg/cm²(20.59~25.5bar),在试验的机型上已达39~42kg/cm²(38.25~41.19bar)。二冲程中速柴油机的单缸功率有的已达2500PS(1838.75kW),平均有效压力 p_e 达10~15.6kg/cm²(9.81~15.3bar)。强化系数 $p_e \cdot c_m$ 在单级增压式中速柴油机中,一般为146~160kg·m/cm²·s,正在研制中的机型为180kg·m/cm²·s。在两级增压式中,日本石川岛播磨公司的PC2-5BTC为203kg·m/cm²·s,富士W6M26型已达204kg·m/cm²·s。每马力的重量为8.5~9.5kg/PS,包括减速装置在内也不过16kg/PS。燃油消耗率通常为146~157g/PS·h(198.5~213.5g/kW·h)。表1-3示出缸径 $D=380\sim 680$ mm级的四冲程中速中型齿轮减速式柴油机实例。

三、低速大型直接连结式柴油机(十字头式)

二冲程十字头直接连结式柴油机一直主要用作为比较大型船舶的主机。由于转速低以及燃烧室能制成适当的形状,使低质燃油能易于进行良好的燃烧,在不同负荷下都是非常稳定的。由于燃烧低质燃油的技术问题已获得解决,再加上在维修保养方面已积累了丰富的实践经验,所以目前在所有船舶柴油机中还是使用

表1-3 四冲程中速齿轮减速式柴油机实例

厂家	型式	缸径/行程 mm/mm	转速 rpm	单缸功率		平均有效压力		活塞平均 速度 m/s
				kW	PS	bar	kg/cm ²	
SEMT	PC2-5	400/460	520	478.1	650	17.65	18.00	7.98
	PC3	480/520	470	698.7	950	19.07	19.45	8.15
	PC4	570/620	400	1103.3	1500	20.89	21.30	8.25
	PA6	280/290	1050	294.2	400	18.83	19.2	10.15
	PC2-5VBTC	400/460	520	625.2	850	20.00	20.4	7.98
MAN	LV40/54A	400/540	450	500.1	680	19.61	20.00	8.10
	LV52/55A	520/550	450	776.0	1055	17.71	18.06	8.25
	LV65/65	650/650	400	1323.9	1800	18.31	18.67	8.67
	LV40/45A	400/450	600	550.2	748	20.3	20.7	9.00
	LV32/36	320/360	705	370.0	503	20.3	20.7	9.00
	LV52/52	520/520	514	890.0	1210	18.81	19.18	8.91
Sulzer	ZUB40/48	400/480	512	551.6	750	20.02	20.41	8.48
B & W	SU50LU	500/540	465	625.2	850	15.2	15.5	8.37
	U28LU	280/320	775	195.0	265	15.3	15.6	8.27
三井	LV42M	420/450	500	551.6	750	20.00	20.4	7.50
	V60M	600/640	370	1103.3	1500	19.8	20.2	7.90
Deutz	BVM540	370/400	630	404.5	550	18.83	19.2	8.40
MAN-Sulzer	65/65	650/650	400	1323.9	1800	18.4	18.76	8.67
SWD	TM410	410/470	600	551.6	750	18.04	18.40	9.40
	TM620	620/660	425	1250.4	1700	17.65	18.00	9.35
Mak	M453AK	320/420	600	275.8	375	16.28	16.60	8.4
	M552AK	450/550	480	551.6	750	16.67	17.00	8.80
大发	DS32	320/380	600	294.2	400	19.26	19.64	7.60

最多的一个机种。

从 50 年代到 70 年代初期, 船舶向大型化和高速化发展, 船

船低速柴油机为了适应这一情况而向不断增大单缸功率的方向发展。在50年代初,单缸功率为1500PS(1103.3kW)。到60年代末期,单缸功率已发展到4000PS(2942kW),12缸的单机功率就达到48000PS(35300kW)。缸径也增大到1060mm。在70年代初,由于能源危机和经济萧条,大型船舶停止发展。³另外,大缸径低速柴油机转速不能低于100rpm,故螺旋桨效率较低。于是低速柴油机停止向增大单机功率的方向发展。另外,为了同船舶中速柴油机相竞争,目前有减小缸径、加大行程和降低转速的发展趋势,以期达到提高螺旋桨效率从而提高全船经济性的目的。

对于低速大型船舶柴油机,世界上各制造厂都制定了各有特点的标准机型,直到目前也还都在进行改进之中。改进后的机型被定为新的标准型而进行定量生产。在最近一个时期内,是以缩小机舱为主要目标,同时强化系数就逐渐有所提高。强化系数 $p_e \cdot c_m$ 在用一级增压时一般为 $80\text{kg} \cdot \text{m}/\text{cm}^2 \cdot \text{s}$,日本三菱UEC采用二级增压方式,使强化系数达到 $100\text{kg} \cdot \text{m}/\text{cm}^2 \cdot \text{s}$,而正在试验中的二级增压的机型,强化系数已达到 $120\text{kg} \cdot \text{m}/\text{cm}^2 \cdot \text{s}$ 。平均有效压力已达到 $15\text{kg}/\text{cm}^2(14.7\text{bar})$ 以上,这是由于采用了二级增压方式的结果。一般来说,平均有效压力为 $12\text{kg}/\text{cm}^2(11.77\text{bar})$ 左右。

在以节能为目标的降低燃油消耗率方面也进行了大量的开发研究工作。由于提高了最高压力,改善了燃烧方式,以及改进了扫排气增压过程,在一定程度上达到了这一目标。特别是由于把脉冲增压方式改为定压增压方式的结果,一下子就把燃油消耗率降低了5%左右。由于采取了这些措施,燃油消耗率已降到 $145 \sim 150\text{g}/\text{PS} \cdot \text{h}(197.1 \sim 203.9\text{g}/\text{kW} \cdot \text{h})$ 以下,估计还将要进一步降低。目前所有低速柴油机都能燃用重油,这使得全船的经济性大大提高。今后还将使转速进一步降低,以提高螺旋桨推进效率,为此还要加长活塞的行程,即开发长行程低速柴油机。表1-4列出国外较先进的长行程二冲程低速柴油机实例。

表1-4 长行程低速二冲程柴油机实例

厂家	型式	缸径/行程 mm/mm	缸径行程比 (S/D)	转速 rpm	单机功率		平均有效压力		活塞平均速度 m/s
					kW	PS	bar	kg/cm ²	
B & W	L 90GF	900/2180	2.42	94	2515.4	3420	11.57	11.8	6.83
	L 80GF	800/1950	2.44	104	1963.8	2670	11.57	11.8	6.76
	L 67GF	670/1700	2.54	119	1375.4	1870	11.57	11.8	6.74
	L 55GF	550/1380	2.51	150	985.6	1340	12.06	12.3	6.90
	L 45GF	450/1200	2.67	170	647.2	880	11.96	12.2	6.80
Sulzer	RLA56	500/1150	2.05	175	948.8	1290	11.83	12.06	6.52
	RLA56	560/1150	2.05	165	875.2	1190	11.83	12.06	5.94
MAN	KSZ90/160BL	990/1600	1.78	110	2699.3	3670	14.49	14.78	5.9
	KSZ78/155BL	780/1550	1.99	110	1980.1	2665	14.38	14.66	5.7
	KSZ70/125BL	700/1250	1.79	130	1518.8	2065	14.51	14.80	5.5
	KSZ52/105BL	520/1050	2.02	165	882.6	1200	14.38	14.66	5.78
三菱	UEC52/125E	520/1250	2.40	150	980.4	1333	14.81	15.10	6.25
	UEC80/125E	800/1250	2.08	158	1397.5	1900	15.01	15.31	6.58
	UEC65/135E	650/1350	2.08	150	1691.7	2300	15.10	15.40	6.75
	UEC85/180E	850/1800	2.12	120	2794.9	3800	13.68	13.95	7.19

第三节 增压技术的进展

一、增压技术的采用

对于船舶柴油机来说，无论何时都要以提高其经济性为主要目的，即要尽力降低其燃油消耗率，提高其热效率。利用柴油机排出的废气进行增压就是非常成功的例子。

最初的柴油机显然是自然进气的，而为了提高功率，就要求在气缸尺寸不变的情况下增加进气量多烧燃油，以提高平均有效压力。狄塞尔在 1896 年就设计了一种机械式的增压装置，是利用柴油机本身活塞的下部将空气吸入，再排入一个中间容器，最后将空气送入柴油机的燃烧室中，以增加进气量，这是早期的情况。后来用了专门设置的扫气泵、鼓风机等机械增压装置来向燃烧室供给空气。这类机械式增压装置都需要消耗柴油机本身所发出的部分有效功率，使燃油消耗率增加和机械效率下降，即没有达到提高经济性的目的。由于柴油机排出的废气温度较高，一般为 $400\sim 700^{\circ}\text{C}$ ，排气中的能量占燃料所发出的全部热量的 41% 以上。如能设法将排气中的能量回收一部分，并用于增压，则能大大提高柴油机的效率。于是就开始研究利用废气涡轮的增压技术。1911~1914 年，瑞士人波希 (Bosch) 首先完成了废气涡轮增压的试验工作，并在 1925 年首先用在德国 MAN 公司的四冲程柴油机上，结果使该柴油机的功率提高了 50% 以上，而重量只增加百分之几。于是在四冲程柴油机上就广泛采用了废气涡轮增压。1951 年，B & W 公司首先在二冲程柴油机上采用了废气涡轮增压，使功率提高了 35%，燃料消耗率下降 $10\text{g/PS}\cdot\text{h}$ ($13.6\text{g/kW}\cdot\text{h}$)，而由于取消了机械式扫气泵，机械效率也提高了 10%。后来增压比又节节上升，又采用了空气中间冷却器，使增压技术不断向前发展。这样，由于废气涡轮增压技术的采用，不仅能成倍提高柴油机的功率，而且回收了排气中废弃的能量，从而大大提高了柴油机的经济性。