

内燃机 NEIRANJI JIENENG SHOUCE

节能手册

王明华 主编



化学工业出版社

全书共十九章，总结了国内外各种用途的汽油机和柴油机在降低燃油消耗和机油消耗方面所取得的成果。系统地介绍内燃机的节能理论、节能技术、代用燃料、节能测试技术以及内燃机与汽车、工程机械、拖拉机和其它农业机械的合理匹配；还介绍了我国内燃机节能的前景、节能法规以及国产节能内燃机。

全书在机械工业部上海内燃机研究所主持下，由21个有关研究所、大学、工厂、使用和管理部门的67位专业技术人员集体编写审核。

本书对于内燃机、汽车、拖拉机、工程机械、船舶及农业机械等行业的教学、设计、科研、生产、使用和管理部门的读者均有较大参考价值。

内燃机节能手册

王明华 主编

责任编辑：谢丰毅

封面设计：许立

化学工业出版社出版发行

（北京和平里七区十六号楼）

化学工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所经销

开本787×1092¹/₁₆印张57字数1,448千字印数1—5,000

1987年12月北京第1版1987年12月北京第1次印刷

统一书号15063·4021 定价12.30元

《内燃机节能手册》编委会

主 编 王明华

以下按姓氏笔划为序

副主编 刘 吉 陆修涵 侯天理 楚梅森

编 委 王明华 叶刚宣 刘 吉 田景文 孙学权 朱吉桥 何学良

吴吉湘 陆修涵 严信本 林杰伦 苟 琳 罗裕时 饶寿人

张大壮 张均华 张志迈 赵士林 赵丽珍 赵明坤 侯天理

顾宏中 顾如龙 袁士畴 高政冠 黄至刚 梁宜运 梁湛亨

温昌霖 楚梅森 阚 春

《内燃机节能手册》编审单位

机械工业部上海内燃机研究所（主编单位）

北京农业工程大学

西安交通大学

上海交通大学

上海市科学技术协会

上海铁道学院

长春汽车研究所

天津内燃机研究所

广东佛山市科学技术委员会

重庆建筑机械化工程公司

机械工业部农业机械局

洛阳拖拉机研究所

天津工程机械研究所

同济大学

上海柴油机厂

天津大学

重庆建筑工程学院

福建机器厂

重庆市机械工业局

上海工业技术大学

北京农林科学院情报所

广东省农机工业公司

四川省农机工业公司

甘肃省拖拉机、内燃机工业公司

前 言

《内燃机节能手册》是一本节能的综合性手册，它汇集了国内外各种用途的汽油机和柴油机在降低燃油耗和机油耗等方面所取得的新成果；系统地介绍了内燃机节能的理论、措施、测试技术、代用燃料以及内燃机与汽车、工程机械、拖拉机和其它农业机械的合理匹配；并介绍了我国内燃机节能的前景、节能法规及国产节能内燃机产品。

在内容的取舍和层次安排方面，本书力求对于内燃机、汽车、拖拉机、工程机械和农业机械等相关行业的研究、设计、教学、使用及管理部门的读者有较高的实用价值。

全书共19章，编委们分别参加了编写及审稿工作，此外参加编写的还有王义昌、王秀琳、刘清水、刘文奎、孙桂苓、邱根茂、陆乃宏、张行健、张金兴、陈德福、陈绍洪、周光岩、封治平、赵丽珍、胥新铃、钟鸿炜、奚光仁、徐淑、徐其龙、徐诚、徐忠、殷志嘉、翁立克、姜玉鸿、彭一戎，参加审稿的尚有王秀琳、刘友钧、刘炽棠、邓琛、朱达、孙桂苓、汤厚发、李邦禄、杜金娟、陈伯贤、周龙保、周一鸣、范思诚、张缔庆、张金清、姚康茂、戚志才。在编写过程中编审者所在单位给予了大力支持，对此我们表示衷心感谢。

本书除个别章节中的图表公式外均采用国际单位制，为方便读者，书后附录中列出其它单位与国际单位制的换算表。

由于《内燃机节能手册》涉及专业面很广，这给编写工作带来很多困难。因此，本书可能存在疏漏，甚至错误之处，敬请读者不吝指正，以便再版时能进一步完善。

王义昌

1986年9月

目 录

第一章 绪论	1
第一节 内燃机节能的重要意义.....	1
第二节 国内外中小功率柴油机的油耗水平.....	2
第三节 我国中小功率柴油机的节能前景.....	3
第四节 内燃机性能的优化目标和优化途径.....	5
第二章 影响内燃机能耗的基本因素	11
第一节 表示内燃机经济性和动力性的基本指标.....	11
第二节 理想循环的热效率.....	15
第三节 内燃机的实际循环.....	20
第四节 内燃机的热平衡.....	30
第三章 换气过程和节能	33
第一节 概述.....	33
第二节 内燃机的理想换气过程.....	34
第三节 换气过程的计算基础.....	35
第四节 气道和气口的设计.....	66
第五节 配气正时.....	74
第六节 进气系统的无因次量及其对充气效率的影响.....	77
第七节 空气滤清器与消声器.....	83
第四章 燃烧系统与节能	87
第一节 混合气形成和燃烧过程.....	87
第二节 燃烧系统的比较和选型.....	93
第三节 直喷式柴油机燃烧室中的空气运动.....	97
第四节 无涡流浅盆形燃烧系统.....	102
第五节 有涡流深坑形燃烧系统.....	107
第六节 涡流室燃烧系统.....	135
第七节 预燃室燃烧系统.....	158
第五章 供油系统与节能	167
第一节 概述.....	167
第二节 供油系统的基本特性.....	169
第三节 供油系统的发展趋势和节能措施.....	174
第四节 供油系统的最佳化.....	175
第五节 柱塞式喷油泵.....	183
第六节 蓄压式喷油系统.....	195
第七节 FM泵喷嘴.....	199
第八节 无回油管喷油器.....	203

第六章 增压与节能	208
第一节 概述	208
第二节 内燃机增压的基本原理	209
第三节 涡轮增压系统的型式	214
第四节 柴油机与废气涡轮增压器的配合	223
第五节 涡轮增压器原理、结构和特性	244
第六节 其它增压系统	286
第七章 降低机械损失	298
第一节 概述	298
第二节 内燃机中滑动摩擦副的润滑状况	303
第三节 S/D 对内燃机机械损失的影响	305
第四节 减少活塞组的摩擦损失	309
第五节 气缸套表面形貌对润滑及摩擦的影响	317
第六节 减少曲轴与连杆的摩擦损失	321
第七节 减少配气机构的摩擦损失	335
第八节 减少驱动附件的损失	336
第九节 减少泵吸损失	344
第十节 润滑油对机械损失的影响	346
第十一节 机械效率和摩擦损失的测定	354
第八章 降低机油消耗	358
第一节 概述	358
第二节 润滑油添加剂	360
第三节 汽油机和柴油机的润滑	366
第四节 润滑油的劣化	368
第五节 润滑油的再生	373
第六节 气门导管与机油耗	377
第七节 曲轴箱内的压力与机油耗	380
第八节 气缸套与机油耗	382
第九节 气环与机油耗	384
第十节 油环与机油耗	388
第十一节 活塞与机油耗	394
第十二节 窜气与机油耗	397
第十三节 泄漏与机油耗	400
第十四节 油膜厚度与机油耗及油振	403
第十五节 机油耗量的测定	409
第十六节 润滑油	414
第九章 内燃机的电子控制	420
第一节 概述	420
第二节 汽油机电电子控制系统	430
第三节 柴油机电电子控制系统	444

第四节	内燃机电控系统的主要部件	453
第十章	绝热柴油机	483
第一节	概述	483
第二节	隔热回收的能量是一种低级能量	484
第三节	隔热后燃烧过程的变动及非增压隔热柴油机的性能	489
第四节	增压及涡轮复合柴油机的隔热效益	493
第十一章	节能汽油机	500
第一节	四冲程节能汽油机	500
第二节	二冲程节能汽油机	545
第十二章	煤气机	559
第一节	概述	559
第二节	气体燃料——煤气	561
第三节	煤气机主要性能参数	568
第四节	混合器与点火系统	575
第五节	煤气机结构	582
第六节	煤气机动力装置	588
第十三章	液体代用燃料在内燃机上的应用	593
第一节	概况	593
第二节	石油系代用燃料及其应用	594
第三节	醇类燃料及其应用	609
第四节	植物油燃料及其应用	632
第十四章	内燃机与汽车的合理匹配	646
第一节	评价汽车动力性与燃料经济性的指标	646
第二节	采用计算机模拟技术进行汽车动力系统合理匹配的技术难点与对策	646
第三节	动力系统参数的合理匹配	649
第四节	影响燃料经济性和动力性的汽车参数敏感性的研究	663
第十五章	内燃机与工程机械的合理匹配	669
第一节	工程机械柴油机功率的标定	669
第二节	柴油机与工程机械合理匹配的基本要求	671
第三节	履带式推土机的合理匹配	673
第四节	轮胎式推土机的合理匹配	682
第五节	装载机的合理匹配	685
第六节	铲运机的合理匹配	691
第七节	平地机的合理匹配	692
第八节	液压挖掘机的合理匹配	694
第十六章	内燃机与拖拉机及其它农业机械的合理匹配	698
第一节	拖拉机对内燃机的要求	698
第二节	拖拉机上柴油机功率的确定	699
第三节	变速箱传动比的择选和档位的合理使用	702
第四节	拖拉机使用重量的确定和行走装置效率的提高	708

第五节	拖拉机上的液压系统·····	712
第六节	内燃机与排灌机械、发电机、脱粒机及粉碎机的合理匹配·····	716
第十七章	内燃机及其配套装置的节能法规·····	726
第一节	“七五”期间内燃机、拖拉机、农用运输车、农用水泵产品节能 考核办法·····	726
第二节	“七五”期间内燃机节能指标·····	729
第三节	“七五”期间拖拉机与农用汽车节能指标·····	735
第四节	“七五”期间水泵节能指标·····	736
第十八章	节能测试技术和仪表·····	745
第一节	节能试验台架及其系统设计·····	745
第二节	发动机样机试验和台架性能试验方法·····	751
第三节	发动机换气过程参数的试验测定·····	757
第四节	进排气道模拟吹风试验·····	763
第五节	燃油消耗量的测量·····	766
第六节	空气流量的测量·····	772
第七节	功率和扭矩的测量·····	782
第八节	转速测量·····	794
第九节	缸内压力测量·····	797
第十节	仪表基本特性与测量误差分析·····	818
第十九章	部分国产节能内燃机及配附件·····	827
一、	凤凰牌170F型柴油机·····	827
二、	多菱牌R175型柴油机·····	828
三、	国光-R175A型及其它型号柴油机·····	830
四、	Z185F型柴油机·····	832
五、	485、490型柴油机·····	832
六、	德力牌190-12型柴油机·····	835
七、	495A型柴油机·····	835
八、	495QA型高速轻型柴油机·····	838
九、	环宇牌L195型柴油机·····	839
十、	敦煌牌S195型柴油机·····	840
十一、	四方牌195型柴油机·····	840
十二、	S195型及其它型号柴油机·····	842
十三、	扬子江牌495型柴油机·····	842
十四、	沂峰牌195型柴油机·····	844
十五、	X195型及其它型号柴油机·····	845
十六、	云峰牌S195型柴油机·····	847
十七、	五菱牌S195型柴油机·····	848
十八、	常柴牌(东风牌)S195型柴油机·····	849
十九、	莱阳牌195T、695Q型柴油机·····	851
二十、	巢湖牌S195型柴油机·····	853

二十一、黄河牌X195型柴油机	854
二十二、禾丰牌S195型柴油机	855
二十三、S1100型柴油机	856
二十四、R4100型柴油机	858
二十五、MP6102QA型柴油机	859
二十六、2105A型及其它型号柴油机	862
二十七、6130型柴油机	863
二十八、12V135型柴油机及增压器系列	865
二十九、海洋牌135系列柴油机	867
三十、英山牌135系列柴油机	868
三十一、160系列柴油机	869
三十二、6250Z型柴油机	872
三十三、ZFB型分配式喷油泵(VE泵)	874
三十四、强字牌I号喷油泵及195A喷油器总成	874
三十五、VTR系列涡轮增压器	876
三十六、液态模锻活塞组合件	878
三十七、ZQS型电磁式风扇离合器	879
三十八、FLJ系列磁电式自动控制汽车安全节油器	880
附录1 常用术语、符号	881
附录2 常用单位换算表	883
附录3 “节能内燃机产品”名单	890
主要参考文献	897

第一章 绪 论

第一节 内燃机节能的重要意义

内燃机的燃料绝大部分来自石油。内燃机节能，实际上主要是降低石油的消耗。

回顾历史可知，动力机械的发展与能源的发展是息息相关的。十八世纪蒸汽机的问世及其发展的基础是煤；十九世纪内燃机发明后，获得蓬勃发展的基础便是石油。1876年由德国发明家Nicolaus, A·Otto研制成功的第一台四冲程往复式内燃机是煤气机，当时照明煤气是容易得到的能源。但煤气机的热效率低（当时为10~12%），煤气发生装置又大大束缚了煤气机应用的发展。正在那个年代，石油开采迅速发展（见表1-1），热值高的汽油、柴油产品引人注目，这就导致1883年德国Daimler, G. 研制成第一台四冲程汽油机，随后德国的Rudolf Diesel于1898年研制成功靠压缩着火燃烧的柴油机。自此以后，内燃机才凭借其效率高、功率大、体积小、重量轻的特点，在与其他动力机械的竞争中独占鳌头，取得了最迅速的发展。由此可以认为，石油这一能源才把内燃机真正推上了动力机械的舞台。

表 1-1 十九世纪末世界石油和煤的增长

年 份	石 油(10kt)	煤(Mt)
1870	80	300
1900	2000	1000

一百多年来，内燃机已经得到了很大发展，并对社会生产和人类活动产生了巨大影响。当今世界上将近四亿辆汽车和一千多万台拖拉机的动力，100%由内燃机驱动；五万多艘商船中，80%由柴油机驱动。内燃机车约占全部机车的60%。其他如工程机械、移动电站、机械排灌、内河航运以及军用战车、舰艇等，内燃机几乎是唯一的动力。如果没有以内燃机为主要动力的现代交通运输业，就无法组织现代工农业生产，人类社会生活将陷于困境；而且，内燃机及其相关动力机械的制造业本身（汽车、拖拉机、工程机械、船舶等）也已成为现代机械工业的主力之一，并由此而形成了很多世界上名列前茅、产值惊人的大企业。

然而，也正是内燃机的蓬勃发展和广泛使用，已经大量消耗并正在继续大量消耗着石油资源，这二者之间的矛盾已经达到了十分尖锐的程度。

目前世界石油消费量约占总能源消费量的一半（表1-2）。而内燃机又是消耗石油的大户，在美国，由于汽车数量多，内燃机所用石油的消耗量竟占总石油消耗量50%以上。我国现在每年内燃机消耗的汽油、柴油量也占国产汽油和柴油消耗量80%以上（占年产石油25%左右）。

据1983年统计，世界石油探明储量为九百二十亿吨左右，而年开采量则在二十五亿吨到三十亿吨水平。若按此简单推论，世界已探明石油储量将在三四十年内采完。当然，现在每年也还有新探明的石油储量增加。然而，这比每年要消耗的量要少。因此，近年来能源问题已成为世界各国关注的重大问题之一；能源政策也成为各国政府的重大决策之一。在我国实

表 1-2 1982年石油消耗比例统计

石油占总能耗的比例	美 国	日 本	联邦德国	法 国	英 国	苏联(81年)
%	42.9	62.5	43.5	50.5	35.6	40.8

现社会主义现代化过程中，能源也是一个重要的战略问题。

解决能源问题只能是“开源”和“节流”并举，目前世界各国虽在“开源”上作出重大努力，但与上世纪石油开采的盛景已是大相径庭了，所以近年来特别着力于“节流”（节能）方面的工作：一是从技术上对内燃机加以改进，提高效率；一是制订了法律、法令或法规对内燃机的能耗加以限制，对能耗低的内燃机则加以推广。内燃机的节能工作这样双管齐下，颇见成效，而且对现代内燃机技术的发展和提高也是有力的促进。

内燃机节能除了“节约资源”的社会效益外，还有明显的经济效益。对于工农业广大用户来说，使用油耗低的内燃机必将降低使用成本，也就会使工农业产品成本降低，从而增加企业利润，增强商品竞争能力。对于专门经营运输的大小企业来说，效果更为明显。对于内燃机的生产企业来说，由于国内外的市场竞争十分剧烈，因此除了提高内燃机产品可靠性和延长使用寿命以外，必须开发和创造油耗低的“节能型”内燃机，才能赢得市场竞争的胜利，否则产品就将无人问津而积压在库了。

当然，内燃机节能，在一定程度上还可以节省石油，使更多的石油制品用作化工原料，以满足工农业生产和人们生活之需，这里就不一一赘述了。

第二节 国内外中小功率柴油机的油耗水平

1. 汽车用柴油机

图1-1为部分国外车用柴油机历年燃油消耗率 g_e 变化情况。图1-2为中型卡车柴油机（4

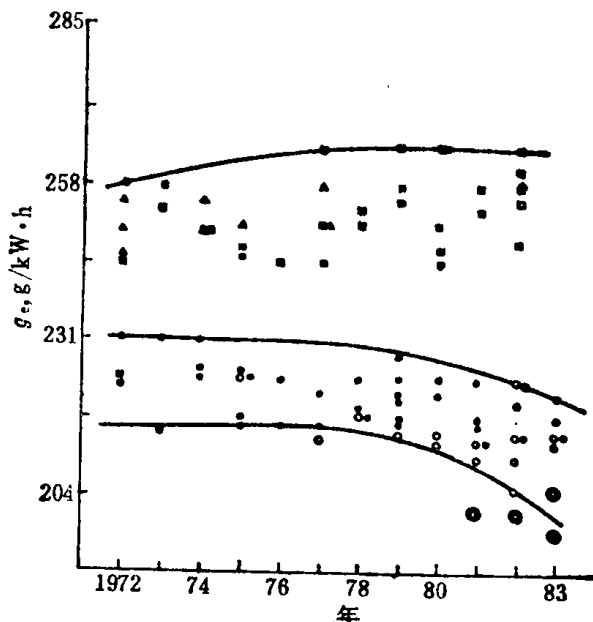


图 1-1 车用柴油机全负荷最低燃油消耗率的变化情况

●—非增压直喷式；○—增压直喷式；◎—增压中冷直喷式；▲—非增压预燃室；■—非增压涡流室

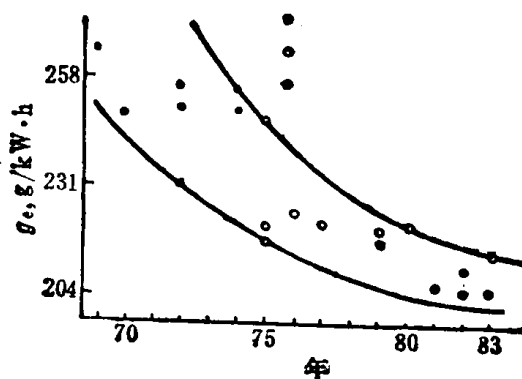


图 1-2 4吨级卡车柴油机全负荷最低燃油消耗率的变化情况

吨级缸径100~110毫米，转速3000~3200转每分）燃油消耗率的变化情况。从图中可以明显看出，分隔式柴油机的燃油消耗率降低不多，而直喷式柴油机燃油消耗率大幅度下降。这反映出车用柴油机燃烧室由分隔式向直喷式发展的趋势，以及直喷式燃烧系统技术水平的提高。实际上，这档缸径的柴油机已基本采用直喷燃烧室，分隔式燃烧室仅仅作为满足特殊要求（主要是低排放）的变型产品。

表1-3列出了目前国内外近300种车用柴油机最大扭矩工况的油耗水平。

表 1-3 国内外车用柴油机油耗水平

缸径(mm)		83~92	95~115	116~125	126~140
燃油耗 (g/kW·h)	国外	238~299	214~258	190~258	193~243
	国内	265~283	245~258	238~252	214~256

2. 拖拉机用柴油机和单缸小功率柴油机

拖拉机用多缸柴油机的气缸直径多数在75~120毫米范围内。

目前国外拖拉机用大缸径柴油机的油耗水平为215~238克每千瓦小时；小缸径柴油机的油耗为252~279克每千瓦小时。国产拖拉机用柴油机油耗一般比国外高14克每千瓦小时以上。

拖拉机用单缸柴油机实际上是一种通用柴油机。国产小功率单缸柴油机（分隔式燃烧室）的油耗与国外同类机型相比已处于同等水平。7.4千瓦以上机型油耗为245~252克每千瓦小时，2.2~3.7千瓦机型为272~286克每千瓦小时。

国外近年来发展了直喷式燃烧室的小型通用柴油机（功率小于15马力），油耗指标较分隔式燃烧室的老机型下降8~15%。小型单缸直喷式柴油机的油耗已达到218~231克每千瓦小时的水平。

第三节 我国中小功率柴油机的节能前景

前几年，我国有关主管部门颁发了节能内燃机法规，以及国内柴油机产品市场的竞争，促使企业对产品性能的重视。同时，科研和生产单位进行了柴油机的研制和柴油机结构的改进，使得技术水平和装备水平也有不同程度的提高。因此，最近几年我国中小功率柴油机的油耗水平比1980年平均降低了14克每千瓦小时左右，在此基础上还研制出一批“节能型”柴油机。这应该说是我国内燃机节能的一个良好起步，而且预示着我国内燃机节能还有很大的潜力和美好的前景。

根据我国内燃机专家用台尔斐法调查预测结果，我国新研制柴油机的油耗指标已接近国外七十年代末产品的油耗水平。但由于气道以及其他运动部件的工艺、材质水平的限制，实际上批量生产的柴油机要到“七五”计划的末期才能达到国外产品的油耗水平。

对于我国面广量大的单缸小功率柴油机，由于节能法规颁发后加强了节能攻关等研究开发工作，其油耗指标明显下降。

台尔斐法调查还表明，到2000年我国中小功率柴油机的油耗指标可以达到国外九十年代初的先进水平（表1-4）。当然，内燃机专家们认为若要全面满足排放、噪声等法规对油耗及动力性能的影响，要达到上述目标必须对燃烧、供油等方面进行深入细致的研究工作。

表 1-4 2000年燃油消耗率水平预测

项 目	专家选择数百分比 (%)			预 测 结 果
2000年国内产品的燃油消耗率	相当于国外同类机型			
	八十年代初期	九十年代初期	九十年代末期	
车用柴油机	15	70	15	九十年代初期
拖拉机用柴油机	18	72	10	九十年代初期
工程机械用柴油机	22	71	7	九十年代初期
单缸小功率柴油机	12	52	36	九十年代中期

图1-3为卡特匹勒3406型卡车柴油机历年燃油消耗率的变化,以及1990年燃油消耗率发展的预测。从1973年石油危机到1984年燃油耗降低了19%左右,预计到1990年燃油耗比1984年还要降低8%左右。值得注意的是1977年燃油耗的大幅度下降,这主要是由于将预燃室改为直喷式燃烧室的结果,以后的改进则依靠涡轮增压技术和燃烧技术的提高以及降低标定转速等措施。还应该提出的是,如果实行1986年美国联邦环境保护局(EPA)的排放法规,则燃油消耗率有可能要升高14%左右。

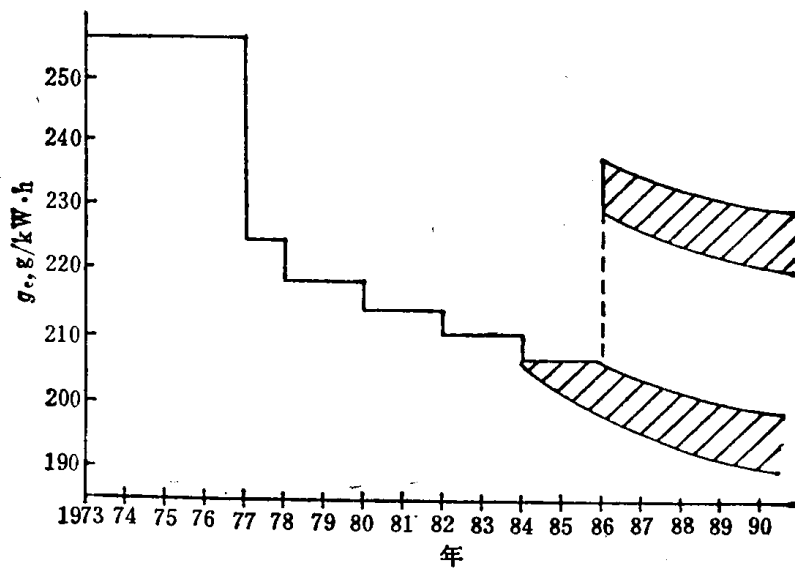


图 1-3 3406型卡车柴油机燃油消耗率的过去及未来

据国外文献介绍,1990年中小功率柴油机较八十年代初可节油5~10%,亦即为11~22克每千瓦小时左右。

这里应该再次指出,国外对于节油前景的预计是基于内燃机及其相关技术的不断改进提高,一些先进新技术在内燃机领域的移植应用,以及对内燃机节能法规的不断完善等因素。我国若要在1990年、2000年实现国产内燃机节能前景的预计,同样要在上述几个方面作坚持不懈的努力。

最后,根据国内外技术发展状况和实践经验,实现中小功率柴油机节能的措施可归纳为:

- (1) 开展各种直喷式燃烧室的研究并予以大力推广;

- (2) 在低、中、高速柴油机上采用并推广废气涡轮增压技术和中冷技术;
- (3) 提高机械效率, 减少机械损失 (包括提高润滑油品级);
- (4) 促进关键配附件, 尤其是油泵油嘴 (包括与整机匹配) 研制与生产的现代化;
- (5) 柴油机配套性能的优化和使用管理水平的提高, 以降低实际使用油耗;
- (6) 加强电子计算机在内燃机研究、设计、测试及控制等方面的应用;
- (7) 开发电子控制内燃机;
- (8) 开发多种内燃机的代用燃料, 并推广应用;
- (9) 完善和强化内燃机节能法规, 并大力推广“节能型”内燃机。

第四节 内燃机性能的优化目标和优化途径

1. 内燃机性能的优化目标

内燃机性能优化的核心是燃烧过程的最优化, 其目标应使内燃机具有最佳的综合性能, 亦即应满足下列要求:

一、升功率高

柴油机技术的进步, 使柴油机的升功率不断提高。自1924年高速柴油机用作汽车动力以来, 柴油机的升功率每年以1.8%的速率增长, 车用柴油机采用增压后, 升功率的年增长率达到2%。提高柴油机升功率的主要途径是提高平均有效压力 P_e 和发动机转速 n 。

(1) 提高平均有效压力 P_e

对于非增压发动机, 提高 P_e 的主要措施是提高充气系数 η_v 和气缸内的空气利用率。空气利用率可用过量空气系数 α 表示。目前柴油机的过量空气系数 α 一般在1.3左右, 少数柴油机已达到 $\alpha = 1.1$ 的水平, 相应的平均有效压力为0.9~1.0兆帕。降低过量空气系数受冒烟极限

的限制, 如何在小的过量空气系数情况下实现无烟燃烧是改进非增压柴油机燃烧过程的重要课题之一。由于受冒烟极限的限制, 所以非增压柴油机的平均有效压力的增长幅度不大。采用增压方法可以大幅度地提高平均有效压力 (参阅表1-5)。由于大缸径柴油机转速提高受惯性力限制, 因此提高功率的主要措施是采用增压。目前增压柴油机的平均有效压力高达2兆帕以上, 不久的将来可望提高到3.2兆帕。增压柴油机的过量空气系数 $\alpha = 1.8 \sim 2.2$ 左右, 此时主要问题是机械负荷和热负荷。图1-5是中小功率柴油机的平均有效压力与气缸直径的关系。

(2) 提高转速 n

提高转速是提高小型高速柴油机功率的主要途径之一。某些小型高速涡流室柴油机的转速已高达5000转每分。活塞平均速度达14米每秒, 直接喷射式高速柴油机的转速也高达3600转每分。转速大幅度提高, 将使充气系数 η_v 和机械效率 η_m 急剧下降, 混合气形成和燃烧时间 (以秒计) 也大大缩短, 从而使高速时燃烧性能恶化, 高速时的燃油经济性变差, 燃烧噪声高, 所以就更需要采取措施改善燃烧过程和高速时的混合气形成, 以及降低摩擦损失和

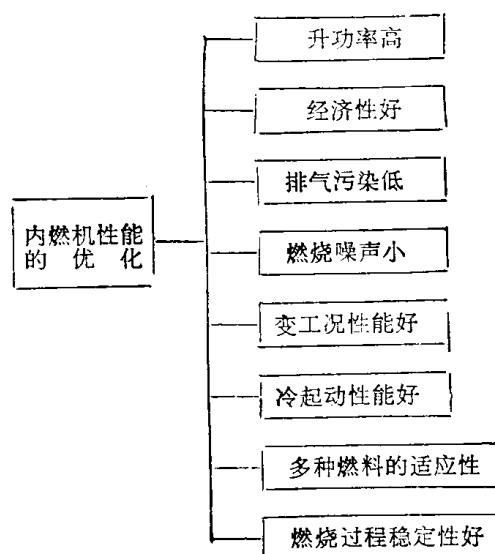


图 1-4 内燃机性能的优化目标

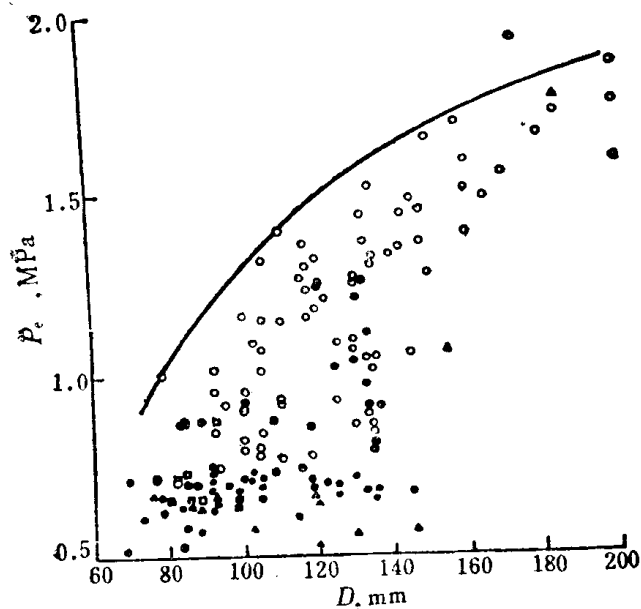


图 1-5 平均有效压力 P_e 与缸径 D 的关系

▲—非增压预燃室；■—非增压涡流室；●—非增压直喷式；△—增压预燃室；□—增压涡流室；○—增压直喷式；⊙—轿车柴油机

为 167 克每千瓦小时（图1-6），相应地有效效率已高达54%。最近 5~10 年，某些大型船

表 1-5 柴油机平均有效压力的发展

年份 (年)	P_e (MPa)
1950	0.7 (非增压)
1960	1.3 (增压)
1970	1.8 (增压)
1980	2.4 (增压)
	3.2 (增压)

噪声。为了降低燃油消耗率和噪声，近年来有适当降低转速、但尽量提高平均有效压力的趋向。

二、经济性好

自1973年以来，提高内燃机的经济性目前已成为性能优化的重要目标。近年来，在围绕降低燃油消耗率方面已取得了较大的进展。例如，Sulzer 公司从1977年到1982年的五年间，将低速二冲程柴油机的燃油消耗率下降了 35 克每千瓦小时，最低燃油消耗率为 167 克每千瓦小时（图1-6），相应地有效效率已高达54%。最近 5~10 年，某些大型船

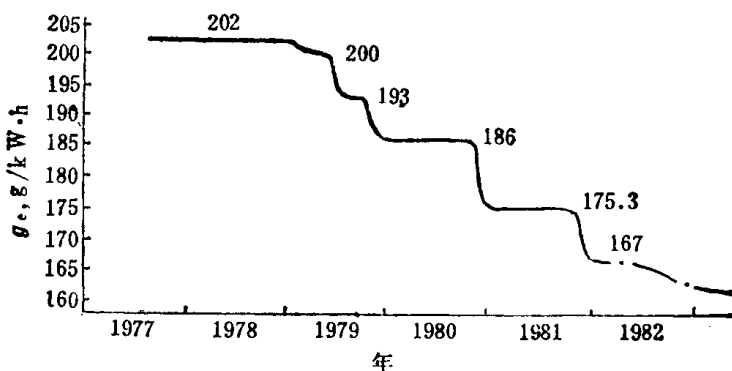


图 1-6 Sulzer RLA(B)90型柴油机降低燃油消耗的过程

用柴油机的燃油消耗率下降了10~20%。皮尔斯蒂克 (S. E. M. T.) 的 PC2—6EE 中速柴油机的最低燃油消耗率已达到170克每千瓦小时。日本小松公司在缸径为125毫米的高速柴油机上进行燃烧室隔热和复合增压试验，使燃油消耗率降低到171 克每千瓦小时，有效效率也高达48%。目前柴油机的燃油消耗率的一般数值列于表1-6中。

表 1-6 柴油机的燃油消耗率

机 种	燃油消耗率[g/(kW·h)]	
	国内	国外
高速机	224~280	200~250
中速机	218~238	182~205
低速机	210~224	160~197

除了要求标定工况的燃油消耗率低外，还要求低燃油消耗区宽广，变工况的经济性良好。车用柴油机的最低燃油消耗率一般是在发动机最高转速的50~60%转速下获得的。

三、排气污染低

从保证柴油机良好的使用性能和环境保护的角度考虑,要求柴油机:

- (1) 在高负荷和加速时不冒黑烟,在起动、怠速和低负荷时不冒蓝烟和白烟;
- (2) 有害排放物 (NO_x 、HC、CO和微粒等) 少。

国外已制定法规,限制内燃机的有害排放物,表1-7为新近制定的柴油机排放标准举例,表中数据是美国加利福尼亚州空气资源局 (CARB) 和联邦环境保护局正式通过的,它适用于1984年以后在美国出售的柴油机和柴油机车。

表 1-7 美国重型车用柴油机排放极限值

实施 年份	标准	试验规范	有害排放物[(g/kW·h)]				实施 年份	标准	试验规范	有害排放物[(g/kW·h)]			
			HC	CO	NO_x	HC+ NO_x				CH	CO	NO_x	HC+ NO_x
1979~ 1983	联邦	十三点工况	2.04	34	—	13.6	1984年 及以后	联邦	瞬态循环法	1.77	21.1	14.55	—
	环保局	十三点工况	—	34	—	6.8		环保局	十三点工况	0.68	21.1	12.24	—
1980~ 1983	加利佛 尼亚州	十三点工况	1.36	34	—	8.2	1984年 及以后	加利佛 尼亚州	瞬态循环法	1.77	21.1	6.9	—
	尼亚州	十三点工况	—	34	—	6.8		尼亚州	十三点工况	0.68	34.0	—	6.12

四、燃烧噪声低, 发动机寿命长

燃烧噪声主要与最大压力升高率 $\left(\frac{dP}{d\varphi}\right)_{\max}$ 和最高燃烧压力 P_z 有关, 而 $P_z \cdot \left(\frac{dP}{d\varphi}\right)_{\max}$ 还决定零件承受的机械负荷, 从而影响发动机的寿命。为了降低燃烧噪声, 提高发动机使用寿命, 一般 $\left(\frac{dP}{d\varphi}\right)_{\max}$ 应限制在0.4兆帕每度曲轴转角以下, $\frac{P_z}{P_c}$ 在10左右。由于降低燃油消耗率的措施往往导致 $P_z \cdot \left(\frac{dP}{d\varphi}\right)_{\max}$ 的增大, 所以燃烧过程的优化要解决好降低燃烧噪声与提高经济性之间的矛盾。

五、变工况性能好

车用柴油机运行工况变化大, 除要求低油耗区宽广外, 还要求燃烧系统能适应负荷、转速等变化, 在变工况时能有较好的燃烧性能, 如在怠速空转时, 燃烧稳定, 无断火现象, 排气烟度和臭味小, 扭矩储备系数高, 加速性能好等。

六、冷起动性能好

要求在较低的温度下能顺利起动, 并且在冷起动时不冒白烟和蓝烟。冷起动性能可用最低起动温度和起动时间 (或动次数) 来评价 (参阅图1-7)。冷起动性能与燃烧系统、机油粘度、起动转速及有无起动辅助装置等因素有关。一般柴油机若不用辅助措施, 可在 $10 \sim -5^\circ\text{C}$

环境下顺利起动, 直喷式柴油机冷起动性能好, 不加辅助措施, 最低冷起动温度可达

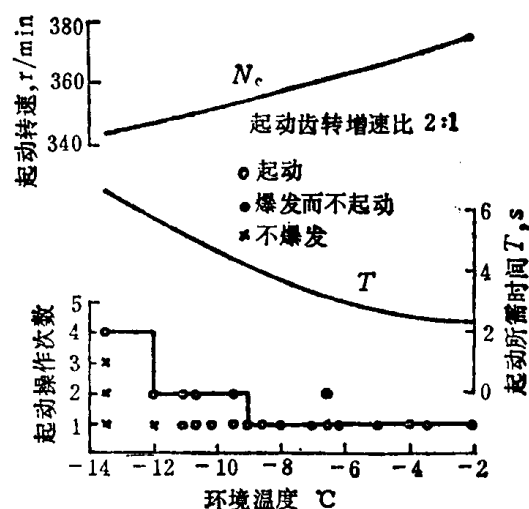


图 1-7 冷起动性能试验结果举例
(分隔式柴油机, 手摇起动)