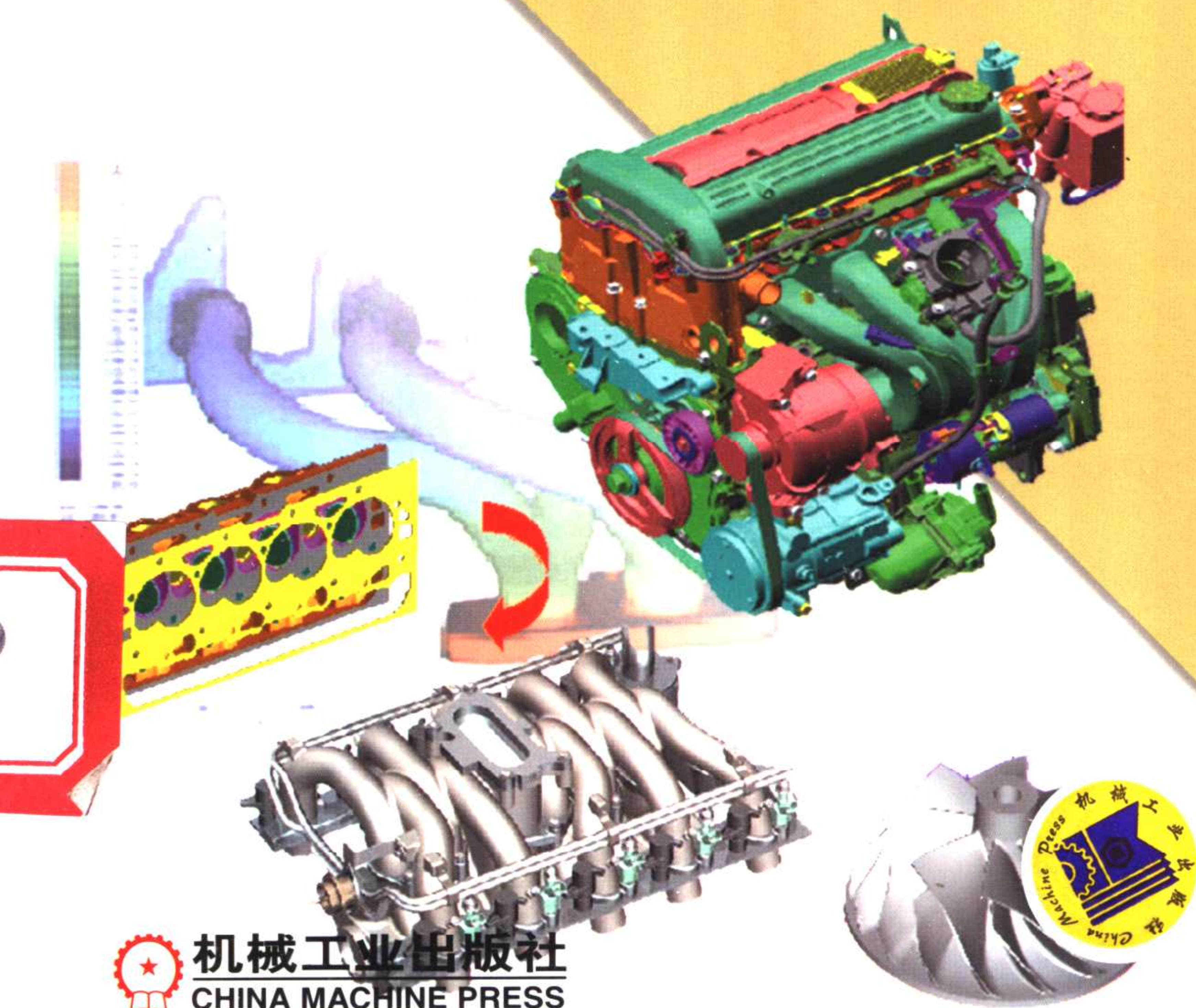




内燃机科技丛书

高速柴油机 概念设计与实践

中国内燃机学会 组编
许道延 丁贤华 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

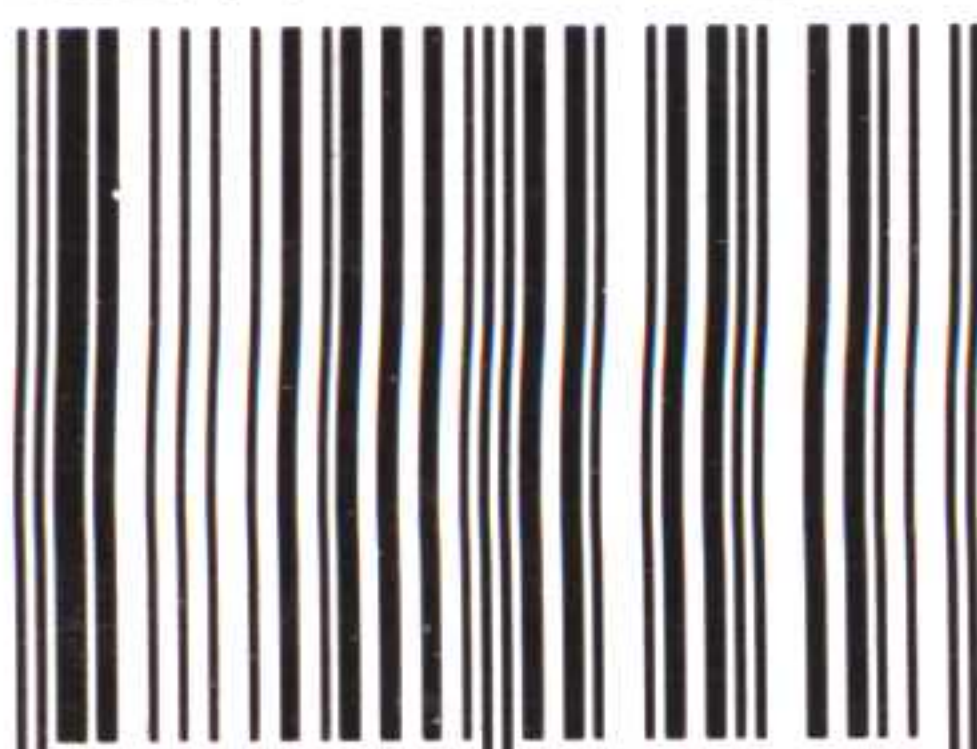
● ISBN 7-111-13161-4/ U·649

封面设计 / 电脑制作 : 姚毅

内燃机科技丛书

- 车用汽油机燃料喷射与电子控制
- 柴油机涡轮增压技术
- 柴油机动力装置匹配
- 内燃机热力过程模拟
- 内燃机的排放与控制
- 高速柴油机概念设计与实践

ISBN 7-111-13161-4



9 787111 131618 >

定价: 20.00 元

地址: 北京市百万庄大街22号
联系电话: (010) 68326294

邮政编码: 100037

网址: <http://www.cmpbook.com>

E-mail: online@cmpbook.com

内 燃 机 科 技 丛 书

高速柴油机概念设计与实践

中国内燃机学会 组编

主编 许道延 丁贤华

参编 王之麒 平银生

姚建明 彭 健

周岳康 方 正

主审 吴培基 杨寿藏



机 械 工 业 出 版 社

本书是根据作者在上海内燃机研究所多年工作的经验,以及英国里卡多咨询工程师公司(Ricardo Consulting Engineers Ltd.)、奥地利 AVL 公司与上海内燃机研究所合作期间提供的资料为主编写的一本实用专业书。书中不仅对高速柴油机的总体布置、主要系统及零部件的设计方法进行了详细介绍,而且还提供了大量设计经验数据和参考图。本书与一般内燃机专业教材的区别,在于更注重实用性和注重理论与实践的结合。相信本书对已掌握内燃机基础理论的设计工程师从事产品开发或改进时会有所帮助。全书共分为 8 章:总论、机体和气缸套、气缸盖、燃烧系统、活塞连杆、曲轴、配气机构以及现代设计方法概论。

本书适用于企业或研究所从事高速柴油机设计的工程设计人员,也可供热能与动力工程专业的本科生和研究生参考。

图书在版编目(CIP)数据

高速柴油机概念设计与实践/许道延、丁贤华主编.
—北京:机械工业出版社,2003.12
(内燃机科技丛书)
ISBN 7-111-13161-4

I. 高... II. ①许... ②丁... III. 高速柴油机—设计 IV. TK429

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 090213 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)
责任编辑:赵爱宁 版式设计:冉晓华 责任校对:刘秀芝
封面设计:姚毅 责任印制:施红
北京铭成印刷有限公司·新华书店北京发行所发行

2004 年 1 月第 1 版·第 1 次印刷

850mm×1168mm 1/32·8.25 印张·218 千字

定价:20.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换
本社购书热线电话(010)68993821、88379646
封面无防伪标均为盗版

序

“内燃机科技丛书”经作者、编审人员、编辑部及编委会成员两年来的共同努力与广大读者见面了。这套“丛书”从今年开始陆续出版并计划于 2000 年内完成。“丛书”的出版是我国内燃机科技界的一件好事，将对内燃机行业的科技进步起重要的推动作用。

党的十五大提出了我国 21 世纪经济和社会发展的宏伟蓝图，提出了在新世纪实施科教兴国战略、加快科技发展的重大目标和任务。我国科技界肩负着重大的历史使命，要求广大科技工作者把握当代世界科技发展的趋势，走在科技兴国的前列，担当起推动科技进步，解放和发展生产力的重任。随着科学技术的发展及许多高新技术在内燃机上的推广应用，内燃机的新技术、新结构、新原理、新材料、新工艺层出不穷，技术水平有了飞速发展和提高。为了担负起历史赋予的重任，迎接新世纪的挑战，中国内燃机学会决定组织编撰一套“内燃机科技丛书”，以推动我国内燃机工业发展和技术进步，并适应培养内燃机界高层次技术人材的需要。

“内燃机科技丛书”共 14 本，选题涉及内燃机工业发展技术进步的一些重要领域，是以单行本出版发行的专题性内燃机工程读物。“丛书”面向 21 世纪，内容新、起点高，不但有最新的专业理论研究，而且有比较成熟的应用技术成果，体现了科学性、先进性和实用性；反映了内燃机设计制造、开发研究诸方面国内外最新科技成就、动向及经验，是一部我国内燃机行业的重要图书。

“丛书”读者对象主要是我国内燃机行业大专以上文化水平的工程技术人员，同时也可作为高等学校、相关专业方向的选修

课教材或教学参考书。这既能帮助读者拓宽视野、掌握动向、提高理论水平，又能在工程实际中应用，有助于读者提高分析和解决问题的能力。

为保证“丛书”的编写质量，中国内燃机学会组建了“丛书”编委会和编辑部，领导和具体组织“丛书”的编写工作，研究确定了“丛书”书目，组织审定了编撰大纲。编委会根据我国机械工业方针任务及广大用户读者的要求，择优遴选国内内燃机界有相当工作基础的单位和专家、教授、学者，请他们承担编写任务，聘为“丛书”的主编和主审。

由于“丛书”编辑出版时间仓促，疏漏和不足之处在所难免，欢迎广大读者指正。

中国内燃机学会理事长

“内燃机科技丛书”编委会主任 李守仁

1999 年 6 月

中国内燃机学会“内燃机科技丛书” 编辑委员会成员名单

(按姓氏笔划排序)

名 誉 主 任	何光远				
主 任	张小虞				
副 主 任	干凤琪	刘洪林	阳树毅	李 骏	
	俞银贵	崔殿国	景平利	蓝祖佑	
	蒋德明				
委 员	马京夫	王建明	田晓红	朱厚国	
	刘永长	闫麟角	孙少军	朴甲哲	
	吴培基	张仪萌	何建光	何瑞祥	
	李树生	肖正海	苏万华	卓 斌	
	范 仲	周建能	苑 发	林 松	
	赵建仁	唐克林	奚国伟	钱恒荣	
	高宗英	黄 松			
编辑部主任	阳树毅(兼)				
副 主 任	王士杰	周龙保	陶陆根	蒲启南	

前 言

本书是中国内燃机学会组织出版的“内燃机科技丛书”之一，原定书名为“内燃机的概念设计”，编写人员由上海内燃机研究所整机开发室为主组成。

关于柴油机或内燃机设计方面的书籍已为数不少，各高等学校也为内燃机专业的学生编写了相关的教材。因此，中国内燃机学会要求本书与一般的教材或设计手册有所区别，应着重于实用性和前瞻性，把上海内燃机研究所多年来在内燃机设计方面的实践经验总结出来，为内燃机行业的工程师提供一些实用的设计知识和方法。它的主要读者是已经掌握了内燃机基础理论的设计工程师。因此，在一般内燃机专业教材上已有的内容尽可能少地编入此书。

上海内燃机研究所曾为国内众多柴油机生产企业设计和开发了多种适用于汽车、拖拉机及工程机械的新机型，有些机型的技术经济指标先进、性能良好。在开发这些新机型的过程中，他们还与国外某些研究机构建立了多种技术合作关系。例如，于20世纪70~80年代与英国里卡多公司建立了长期的技术咨询合作关系，签订了委托设计合同；与奥地利AVL公司共同为国内某些企业的柴油机性能改进和提高进行了有效的合作。通过这些合作，不仅使上海内燃机研究所的工程师掌握了许多当时在国外内燃机设计方面的先进知识和技术，而且实践者自身也积累了较为丰富的经验。虽然近10年来国外内燃机技术的发展较快，上述的有些知识和经验数据可能过时，但大部分仍然被实践证明是实用和有效的。编者认为应该将这些设计技术和经验系统地介绍给我国广大柴油机设计工作者，让它发挥更大的作用。此外，为了使读者对现代高速柴油机的发展趋势和设计新技术有所了解，

编者在各章节中还增加了一些相关的内容和知识，特别在第8章中通过对模态分析和数字化虚拟技术的全面介绍，让读者对柴油机现代设计方法有一初步的认识，为有志者今后用好这些技术并提高开拓创新能力起到桥梁和铺垫作用。

本书的另一个特点是不强调完整性，主要针对高速柴油机总体设计、燃烧系统、配气机构、模态分析及几个重要件的设计进行详细阐述。有些内容，如柴油机涡轮增压技术、柴油机电控等已另有专著，故不再列入本书。全书共分八章，第1章总论及第2章机体和气缸套由许道延编写；第3章气缸盖由平银生编写；第4章燃烧系统由丁贤华编写；第5章活塞连杆由许道延与姚建明合作编写；第6章曲轴由姚建明编写；第7章配气机构由彭健编写；第8章现代设计方法概论中有关模态分析部分由周岳康编写，有关内燃机虚拟化数字技术部分由方正编写。全书由许道延、丁贤华主编，由七〇研究所原所长吴培基和上海柴油机股份有限公司原副总工程师杨寿藏审阅，由丁贤华完成统稿。

在编写过程中，吉林工业大学刘巽俊教授、天津大学许斯都教授、玉柴机器股份有限公司总工程师沈捷及国内有关柴油机厂的技术部门等，对本书编写提供了宝贵的支持，在此一并致谢。

编 者

目 录

序

前言

第 1 章 总 论	1
1.1 序言	1
1.2 高速柴油机的概念设计	1
1.2.1 高速柴油机概念设计的要求	1
1.2.2 高速柴油机概念设计的内容	2
1.3 高速柴油机目前在国内的设计情况	12
1.4 国内现阶段已批量生产的部分机型介绍	13
1.4.1 小缸径多缸柴油机	13
1.4.2 中、大缸径柴油机	16
第 2 章 机体与气缸套	28
2.1 机体	28
2.1.1 提高机体刚度的设计措施	29
2.1.2 缩小机体外形尺寸及减小净质量的措施	34
2.1.3 机体设计中的几个其他问题	37
2.1.4 机体材料	39
2.2 气缸套	40
2.2.1 气缸套的形式和结构	40
2.2.2 气缸套的材料和表面处理	45
第 3 章 气缸盖	47
3.1 概述	47
3.2 基本结构形式及布置	47
3.2.1 气门数目	48
3.2.2 气缸盖的结构形式	50

3.2.3 气缸盖螺栓的数目与位置	51
3.2.4 气门、燃烧室及喷油器在气缸中的布置	53
3.3 四气门气缸盖的结构布置	55
3.4 气缸盖的刚度与密封性	58
3.4.1 气缸盖底面的刚度	58
3.4.2 压紧力	58
3.5 水冷柴油机气缸盖的热负荷与冷却	59
3.5.1 热负荷	59
3.5.2 传热方式	59
3.5.3 热疲劳和气缸盖开裂	60
3.5.4 鼻梁区	60
3.6 防止气缸盖开裂的措施	60
3.6.1 材料	61
3.6.2 薄壁强背结构	62
3.6.3 钻孔	62
3.6.4 喷油器的冷却	64
3.7 气道设计	65
3.7.1 无涡流气道	65
3.7.2 涡流气道	68
第 4 章 燃烧系统	71
4.1 柴油机燃烧过程的特点	71
4.1.1 柴油机燃烧的四个阶段	72
4.1.2 柴油机的敲缸	73
4.1.3 柴油机的排放	74
4.2 影响柴油机燃烧的主要因素	75
4.3 柴油机燃烧系统的选择	76
4.4 涡流室燃烧系统的设计与匹配	79
4.4.1 彗星 V_B 型涡流室	80
4.4.2 吊钟型涡流室	88
4.4.3 供油系统的选择	89

4.5	直喷燃烧系统的设计与匹配	90
4.5.1	燃烧室的设计	91
4.5.2	进气涡流的组织	94
4.5.3	供油系统的匹配	97
4.5.4	喷油器的选择	106
4.5.5	燃油喷射过程的优化	109
4.6	柴油机燃烧系统的发展	112
第 5 章	活塞连杆	117
5.1	活塞设计	117
5.1.1	活塞的总体结构	117
5.1.2	活塞头部	118
5.1.3	活塞销座	120
5.1.4	活塞裙部	121
5.1.5	活塞材料	124
5.2	连杆设计	124
5.2.1	连杆材料	124
5.2.2	连杆的主要结构及尺寸	124
5.2.3	连杆的强度计算	126
第 6 章	曲 轴	133
6.1	曲轴的结构设计	133
6.1.1	轴颈大小的确定	133
6.1.2	轴向尺寸的确定	135
6.2	曲轴的平衡	136
6.2.1	曲轴的静平衡	136
6.2.2	曲轴的动平衡	136
6.3	曲轴材料	139
6.4	提高曲轴强度的措施	139
6.4.1	结构措施	139
6.4.2	工艺措施	140
6.5	曲轴的强度计算	140

6.5.1	Ricardo 计算方法	141
6.5.2	AVL 计算方法简介	149
第 7 章	配气机构	158
7.1	概述	158
7.2	配气机构的总体设计	159
7.2.1	下置凸轮结构	159
7.2.2	顶置凸轮结构	159
7.3	凸轮型线的设计	161
7.3.1	凸轮型线类型的选择	161
7.3.2	凸轮设计时应当遵循的准则	162
7.3.3	凸轮过渡段的设计	164
7.3.4	凸轮工作段的设计	166
7.4	配气机构动力学	174
7.4.1	单质量动力学计算模型及微分方程式的建立	175
7.4.2	计算原始数据的确定	176
7.4.3	计算结果分析	182
7.5	凸轮—挺柱摩擦副的摩擦学设计	183
7.6	气门弹簧的设计	186
7.6.1	气门弹簧的设计要求和结构形式	186
7.6.2	气门弹簧载荷的选择	186
7.6.3	气门弹簧尺寸的确定	187
7.6.4	气门弹簧的强度验算	189
7.6.5	气门弹簧的共振校核	190
7.6.6	变节距弹簧的设计	190
7.6.7	气门弹簧的优化设计	194
7.6.8	气门弹簧材料的选择	196
7.6.9	提高气门弹簧工作可靠性和寿命的措施	197
7.7	液力挺柱的应用	198
第 8 章	现代设计方法概论	203
8.1	模态分析技术	203

8.1.1	模态分析概述	203
8.1.2	模态分析理论	206
8.1.3	模态分析方法	210
8.1.4	模态分析在柴油机设计中的应用	213
8.2	虚拟样机数字化技术	221
8.2.1	数字样机技术	223
8.2.2	内燃机产品设计、制造的虚拟化技术	234
8.2.3	内燃机虚拟样机的工程分析与优化、仿真技术	237
参考文献		250

第1章 总 论

1.1 序言

往复活塞式内燃机是以汽油、柴油、可燃气体(发生炉煤气、天然气及液化石油气等)为燃料而作功的动力机械,广泛应用于国民经济各领域,是迄今为止最方便的移动动力,其功率范围可从数千瓦的特种用途汽油机至六万多千瓦的重型船用柴油机,其中用途最广泛、品种最多、产量最大的当属高速柴油机。汽油机虽首先在汽车上得到应用,其产量曾经多于柴油机,但由于工作原理的限制,其功率范围无法进一步加大(一般不超过 300kW)。随着柴油机技术的进步,它在汽车上的应用得到迅猛的发展,特别是重型载货车更是柴油机的一统天下,过去采用汽油机配套的轿车和小型客车也用上了轻型高速柴油机。目前,高速柴油机已广泛用于汽车(包括各种用途的特种车、作战车),拖拉机及各种农业机械,各种工程机械,中、小型船舰主、辅机,中、小容量发电机组等领域。柴油机在配套使用中更进一步显示出其优越性。

1.2 高速柴油机的概念设计

高速柴油机是指活塞平均速度超过 9 m/s 和转速超过 1000 r/min 的柴油机。高速柴油机中品种多、产量大、产值高、技术含量高的首推车用柴油机。因此,本书拟以高速车用柴油机的设计为主进行阐述,兼顾其他用途柴油机。

1.2.1 高速柴油机概念设计的要求

高速柴油机概念设计应满足下列基本要求:

1. 最佳的使用性能 包括最佳的动力性能、最小的外形尺

寸、最轻的总质量，能满足各种特定用途对发动机性能的要求。

2. 最佳的经济性能 主要可以概括为下列三方面：

1) 最佳的使用经济性 包括完善的工作过程，特别是组织良好的燃烧过程，以降低燃油消耗；精心设计润滑系统，在保证发动机获得良好润滑的前提下降低润滑油消耗量；具有良好的装拆工艺性，易于装拆、维修，减少维修费用的支出。

2) 最佳的制造经济性 包括优化设计，使整机及零部件具有良好的加工工艺性；选用价廉适用的制造材料；选用优质、价廉的零配件；降低不必要的加工精度。

3) 最好的可靠性和最长的使用寿命 这是发动机成功的重要标志。在发动机概念设计阶段，设计师应高度重视这一问题。首先在结构上要保证发动机各部件具有良好的刚度，在各种工况下工作时，各零部件不允许发生不正常的变形和振动。发动机的各易损件要具有必要的寿命，所有摩擦副在设计时应考虑减摩措施和材料的配对等。

3. 最佳的环保性能 目的在于减少有害物质的排放。柴油机废气排放对环境的污染一直是柴油机界高度重视、同时也是深感困惑的难题。日益严格的环保法规对柴油机的废气排放提出了更高的要求。因此在设计阶段，在燃烧过程的组织、排放后处理等方面，应考虑采取相应的措施。其次是减低噪声污染，在概念设计阶段就要考虑降噪，尽可能采取目前所有的降噪措施，以最大限度地降低噪声污染。为了提高发动机的环保性能，在某些方面即使牺牲发动机的一些经济性和动力性也在所不惜。

1.2.2 高速柴油机概念设计的内容

1.2.2.1 高速柴油机用途的确定

拟设计发动机的具体用途是概念设计的重要依据，不针对具体用途无法设计一台优秀的发动机。对高速柴油机而言，产量最大的配套是各种车辆，其他依次为拖拉机和各种农业机械、工程机械、中小型船舶主机和辅机、小容量发电机组等。各种用途对发动机的要求都不相同。若要设计成功一台理想的发动机，针对

其具体用途进行设计是至关重要的。

1.2.2.2 高速柴油机类型的确定

高速柴油机有多种类型,如冲程数,是采用四冲程或两冲程;冷却方式,是水冷、风冷还是油冷;气缸布置,是直列、卧式、V型或其他布置形式;进气方式,是自然吸气(非增压)、增压或增压中冷;燃烧室类型,是涡流室、预燃室或直喷式燃烧室;气门数,是两气门或多气门;凸轮轴,是侧置还是顶置等。下面依次介绍确定类型时应考虑的问题。

1) 四冲程及两冲程 目前我国使用的机型均为四冲程,国外绝大部分机型也是四冲程。近年来,国外在完善两冲程发动机的试验研究方面取得了不少成果,大有两冲程机重振雄风之势,但毕竟目前在实际使用上仍处于初始阶段。现阶段在我国仍应以选择四冲程为主。

2) 冷却方式 目前世界各国生产的机型仍以水冷为主。中、小型有风冷品种,比较著名的如德国的道依兹(DUETZ)公司、意大利的萨姆(SAME)公司、美国的通用(GM)公司等,但品种不多。我国一些企业从国外引进了某些机型,并形成一定的产量进入市场,但数量较少。鉴于风冷机型在制造上要求较高、难度较大,大批量生产和销售均有难度,目前我国仍应以水冷为主。

3) 气缸布置 气缸布置形式有直列立式,卧式(单缸机卧式有水平曲轴和直立曲轴两种);斜置(仍属于直列式,为了某些需要,气缸向左或向右倾斜一个角度);V型,少数有6缸,多见于8、12缸,国外有10缸;为扩大功率,中、大缸径尚有16缸的品种。V型夹角视气缸数分别选择 45° 、 60° 及 90° 不等,个别机型的夹角小于 45° 或大于 90° 。其所以有多种气缸布置形式,是基于配套机具总体布置的要求,或有利于平衡、散热等。V型布置则主要为了缩短6缸以上多缸机的长度,以利于发动机与各种机具更完善的匹配。

4) 进气系统是否增压 发动机增压对功率稍大的机型(国外在20kW以上,我国约50kW以上)有很大的好处,如改善排放,