

142

# 涡流室式柴油机的燃烧过程和燃烧系统

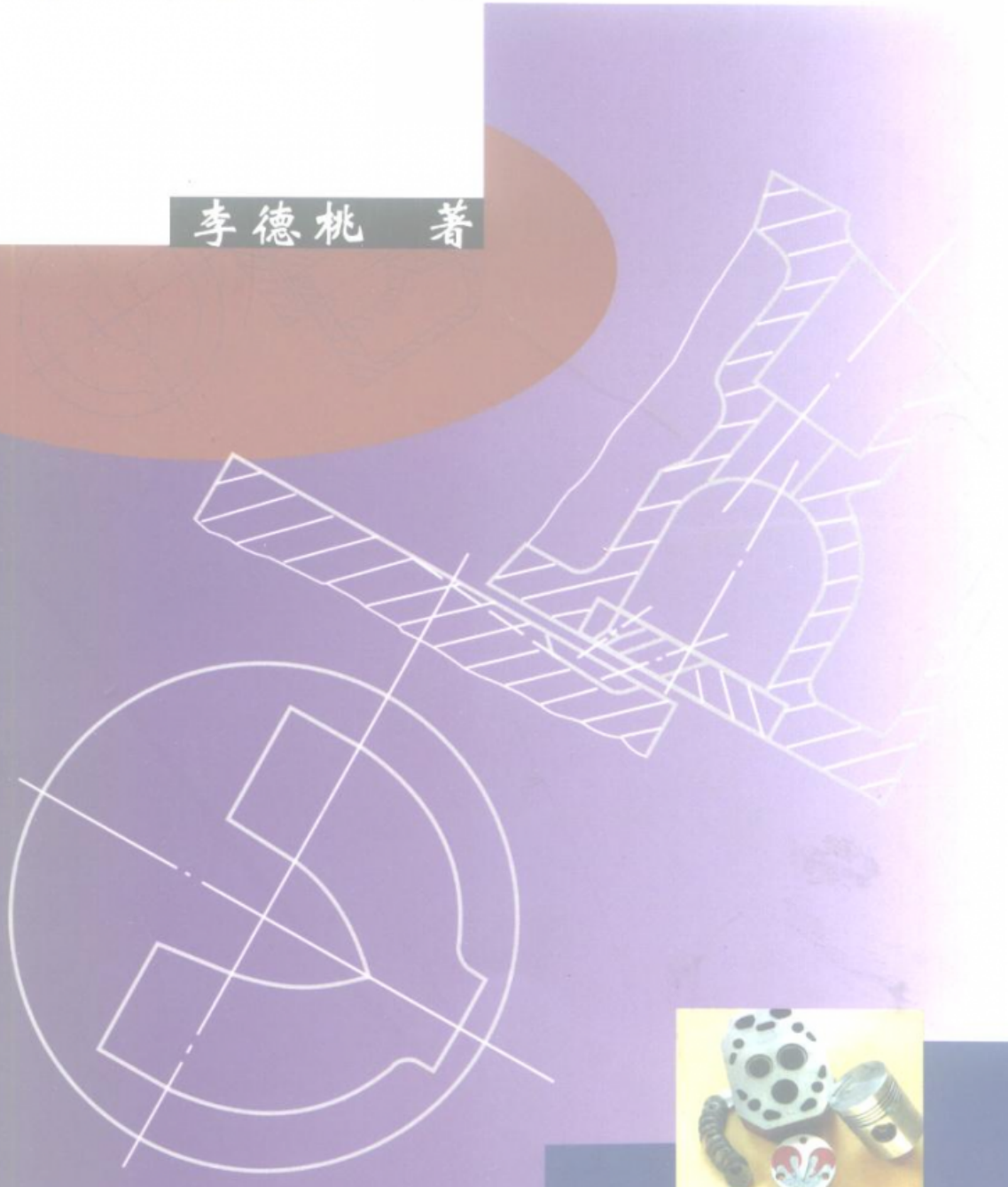
李德桃 著

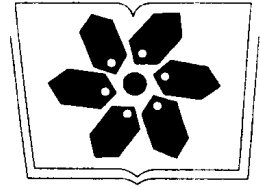
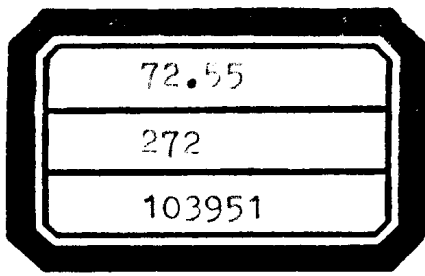
涡流室式柴油机的燃烧过程和燃烧系统

李德桃 著

55  
951

出版社

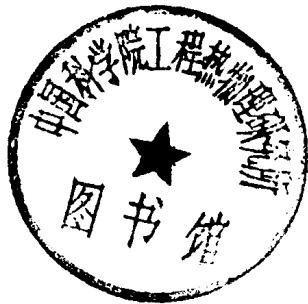




中国科学院科学出版基金资助出版

# 涡流室式柴油机的 燃烧过程和燃烧系统

李德桃 著



科学出版社

2000

## 内 容 简 介

本书是作者在总结他们的研究群体的研究成果以及在数十个工厂推广应用的经验的基础上,收集和消化国际上的优秀成果写成的。

本书着重从涡流室式柴油机的空气运动、喷雾、混合气形成、燃烧和有害排放物形成机制等方面深入探讨了燃烧过程及其影响因素。本书内容包括:利用先进的测试技术对燃烧过程和燃烧系统进行测量所获得的结果及其分析,涡流室式柴油机燃烧过程的数值模拟和近年来改进和发展的新型涡流燃烧系统。

本书可供内燃机、汽车学科以及燃烧学、机械学等相关学科的科技人员阅读,也可作为高等学校内燃机和汽车专业高年级学生、研究生的参考书。

### 图书在版编目(CIP)数据

涡流室式柴油机的燃烧过程和燃烧系统/李德桃著.-北京:科学出版社,2000

ISBN 7-03-008481-0

I. 涡… II. 李… III. ①涡流室柴油机-燃烧过程②涡流室柴油机-燃烧系统-锅炉燃烧 IV. TK42

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 07776 号

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号  
邮政编码:100717

中国科学院印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2000年9月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2000年9月第一次印刷 印张:12 1/4

印数:1—1 500 字数:268 000

定价:25.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈科印〉)

## 序

涡流室式柴油机由于其良好的工作性能、较低的排放和低廉的成本，在我国获得了很大的发展和广泛的应用。尽管面临着直喷式柴油机和火花点燃式发动机的激烈竞争，但通过不断的改进，它仍然具有生命力，尤其是在小型、高速、自然吸气式发动机领域内。

本书作者李德桃同志是江苏理工大学教授、博士生导师，30多年来一直致力于涡流室式柴油机燃烧过程和燃烧系统的研究。他用新的观点、新的计算方法和先进的测试技术系统深入地研究了柴油机涡流室内的空气运动、燃油喷雾、混合气形成和排放特性等多方面的问题，获得了一些创造性和颇有价值的成果。如：利用激光多普勒测速仪精确地测出了涡流室的流场；用激光莫尔偏折法精确地测出了涡流室的温度场；用激光全息摄影揭示了轴针式喷油器的喷雾发展过程；建立了涡流室式柴油机放热率的精确计算模型，发展了放热率的计算方法和程序；提出了涡流室式柴油机冷起动过程四阶段模型，揭示了起动孔的作用机制；通过实验和计算证明，我国应用最广的吊钟型涡流室内存在附涡；研制成功“低油耗、低污染、低爆压柴油机涡流燃烧室”等等。这些成果已经在国际国内学术会议上宣读，或在相应的刊物上发表，并受到好评。李德桃教授是一位国内知名的内燃机专家，在国际上也有一定影响。他及其研究群体的研究成果，被我国涡流室式柴油机厂广泛采用，为我国涡流室式柴油机的发展作出了较大贡献！

本书是作者在多年研究成果的基础上写成的，也可以说是研究成果的总结，反映了我国在涡流室式柴油机方面的研究和发展特色。本书也吸收了一些国外的优秀研究成果。这是一部值得向我国内燃机界推荐的优秀著作。我相信，本书的出版对我国内燃机工业的发展，将起到积极的促进作用。

史绍熙

1999年12月

---

注：史绍熙——中国科学院院士，中国工程热物理学会理事长，中国内燃机学会名誉理事长，国际燃烧学会领导小组成员，国际内燃机学会学术委员会委员，天津大学原校长，内燃机燃烧学国家重点实验室主任。

## 前 言

1959年苏联出版了Г. П. Бондаренко著《柴油机涡流室的研究》一书，1986年我国出版了作者的《柴油机涡流燃烧室的研究与设计》一书。这两本书都没有深入详细探讨涡流室式柴油机的燃烧过程，而且据我们所知，此后国内外再也没有出版同类专著了。然而近30多年来，尤其是近10多年来，涡流室式（非直喷式）柴油机的燃烧过程和燃烧系统在理论和试验研究方面都取得了突破性进展，发表了许多有重要价值的学术论文，出现了不少新的燃烧系统。我国是世界上涡流室式柴油机产量最多的国家，在研究和生产方面，也都取得了有特色的成果。作者及其所领导的跨单位、跨学科、跨地区的研究群体，在该领域辛勤工作了30多年。本书就是在总结我们的研究成果及其在数十个工厂推广应用的经验，并收集和消化国际上的优秀成果的基础上写成的，因此，可以说，本书具有资料新颖、内容丰富、反映国内外研究动态和我国在该领域的研究特色等特点。

本书着重从涡流室式柴油机的空气运动、喷雾、混合气形成、燃烧和有害排放物形成机制等方面深入探讨了燃烧过程及其影响因素。

本书内容包括：利用先进的测试技术对燃烧过程和燃烧系统进行测量所获得的结果及其分析，涡流室式柴油机燃烧过程的数值模拟和近些年改进和发展的新型涡流燃烧系统。作者构筑该书的结构体系时，力求全面涵盖和深刻反映有关研究成果，把学术性和实用性融为一体。

然而，由于柴油机燃烧过程非常复杂，而且整个瞬变过程仅数微秒，以致无论在理论还是实验方面，迄今仍有一些问题在探索中。本书在论及这些问题时，会出现不足、不当甚至错误之处，这还要请专家和读者不吝赐教。

本书在写作过程中，得到了杨文明、熊锐、夏兴兰、王谦、田东波、董刚、杜爱民、曹茉莉诸位博士和严新娟、潘剑锋、梁凤标三位硕士的帮助。他们分别读了有关部分手稿，并提供了有益的建议。尤其是杨文明博士，他为本手稿的完成花费了大量精力。南京理工大学的贺安之、阎大鹏教授，天津大学的刘书亮、傅茂林、苏万华教授，张惠明、许振忠高工，湖南内燃机学会常务副理事长贾大锄研究员，长沙铁道学院何秉初教授，湖南大学龚金科教授，江苏理工大学罗惕乾、顾子良教授对完成本书有关基础实验提供了帮助和支持，新加坡国立大学薛宏教授、博士也对有关课题的完成提供了支持。在此，一并致以谢意。

作者也要感谢我们研究群体的所有同志们，我们在不同研究阶段和不同研究内容上进行了卓有成效的合作，从而使相关课题得以按时完成。我也要感谢妻子的支持，她几乎承担了全部家务。

作者还要感谢中国科学院院士史绍熙教授为本书作序和给予的鼓励。

最后感谢中国科学院科学出版基金委员会提供的经费支持。

作 者

2000年1月于江苏理工大学

# 符号表

## 1. 拉丁字母

$A$	频率因子, 油膜覆盖表面积
$a, b$	常数
$B$	Spalding 数
$Bo$	Bond 数
$b_c$	燃油消耗率
$C_v, C_p$	分别为定容、定压比热
$C_m$	活塞平均速度
$C_D$	阻力系数
$D$	汽缸直径, 扩散系数
$Da$	Damkohler 数
$D_f$	喷雾表面轮廓线的分数维
$d_0$	喷孔直径
$d_w$	液滴直径
$E$	活化能
$e_0$	油线偏离涡流室中心的距离
$F$	通道截面积, 射流的动量通量
$f$	随机数
$f_D$	多普勒信号频率
$f_s$	总频移量
$G$	体积力
$G_w$	油滴质量
$g$	比体积力, 加速度
$h$	比焓, 余隙高度
$h_c$	气体对壁面的热交换系数
$Hu$	燃料的低热值
$I$	比内能
$J$	热流矢量
$K$	比热比, 湍流脉动动能, 积分长度, 波数
$K_i$	比例系数
$L$	特征长度, 汽化潜热

$La$	Laplace 数
$L_0$	1kg 燃料完全燃烧所需理论空气量
$l$	通道长度
$m$	工质质量
$m_1$	主燃室中的工质质量
$m_2$	副燃室中的工质质量
$n$	转速, 折射率
$N$	循环数
$Ne$	功率
$Nu$	Nusselt 数
$p$	汽缸压力
$p_1$	主燃室压力
$p_2$	副燃室压力
$p_b$	饱和压力
$p_0$	启喷压力
$Pr$	Prandtl 数
$q$	喷油量
$Q$	放热量
$Q_r$	喷雾碰壁反射角
$R$	气体常数, 涡流室中心到某一点的距离
$R_0$	吊钟型涡流室半径
$R_\delta$	油膜厚度的减少率
$Re$	Reynolds 数
$r$	曲轴半径, 油滴半径
$r_0$	刚体涡半径, 圆形涡流室半径
$S$	行程, 喷雾贯穿距离
$Sc$	Schimidt 数
$Shd$	Sherwood 数
$T$	气体温度
$T_1$	主燃室工质温度
$T_2$	副燃室工质温度
$T_b$	饱和温度
$T_c$	火焰面温度
$T_w$	汽缸壁温度, 油滴温度
$U$	内能
$U_m$	从连接通道流入涡流室的平均速度
$u$	气流速度

$\bar{u}$	平均流速
$u_i$	切向速度
$u'$	湍流强度
$V$	汽缸容积, 气体速度
$V_1$	主燃室容积
$V_2$	副燃室容积
$V_h$	活塞排量
$v$	比容
$\nu$	油滴速度
$W$	功, 流量
$We$	Weber 数
$W_{F,P}$	燃料的消耗量
$X_{FW}$	油滴表面燃油蒸气的摩尔分数
$Y$	平均质量份数
$Y_{FW}$	油滴表面燃油蒸气的质量份数
$z$	压缩因子

## 2. 希腊字母

$\alpha$	角度, 换热系数, 拉伸因子
$\gamma$	比例系数
$\Gamma$	环量
$\beta$	容积比, 空燃比
$\delta$	油膜平均厚度
$\epsilon_s$	拉伸率
$\epsilon$	相对湍流强度, 湍流脉动动能的耗散率, 能量损失系数
$\eta$	振幅, 粒子速度与流体速度之比
$\eta_0$	起始无限小振幅
$\theta$	激光束夹角, 喷雾锥角, 喷油提前角
$\Lambda$	波长
$\lambda$	泰勒长度尺度, 过量空气系数, 压力比, 导热系数
$\lambda_s$	曲柄连杆比
$\mu$	流量系数, 动力粘性系数
$\nu$	频率, 碰撞频率
$\pi$	圆周率, 气体粘性应力张量
$\rho$	密度
$\Sigma$	局部火焰面积密度
$\sigma$	油滴的表面张力, 面积比



$\sigma_{\Sigma}$	火焰面的 Schmidt 数
$\tau$	时间
$\phi$	燃空当量比
$\varphi$	曲轴转角
$\times$	放热百分数
$\Psi$	喷雾碰壁周向角
$\omega$	角速度, 波的增长率

### 3. 下角标

air	空气
$f$	燃料
$g$	气体
$l$	液态燃料
max	最大值
min	最小值
ox	氧气
$r, \theta, z$	$r, \theta, z$ 分量
$w$	壁面
$x, y, z$	$x, y, z$ 分量
0	参考值, 滞止值, 初始值

### 4. 缩写

ATDC	上止点后
BSU	Bosch 烟度
BTDC	上止点前
CA	曲轴转角
EGR	废气再循环
LDA	激光多普勒测速仪
PM	微粒
TDC	上止点
VIPS	可变喷射模式系统

# 目 录

序

前言

符号表 ..... (ix)

第一章 绪论 ..... (1)

1.1 涡流室式柴油机的重要地位和发展动态 ..... (1)

1.2 涡流室式柴油机燃烧过程和燃烧系统的研究动向 ..... (3)

1.3 本书的主要目的和主要内容 ..... (3)

参考文献 ..... (4)

第二章 基础实验和分析计算 ..... (5)

2.1 涡流室内的空气运动 ..... (5)

2.1.1 实验研究和数值模拟的现状和进展 ..... (5)

2.1.2 实验及数据处理的方法 ..... (10)

2.1.3 平均速度的分布特性 ..... (15)

2.1.4 湍流分布特性 ..... (20)

2.1.5 多维数值模拟 ..... (24)

2.1.6 小结 ..... (34)

2.2 柴油机涡流室内非稳态温度场的测试和分析 ..... (36)

2.2.1 概述 ..... (36)

2.2.2 激光莫尔偏折法显示流场参数的基本原理 ..... (36)

2.2.3 测试装置 ..... (38)

2.2.4 激光莫尔偏折测试图及其处理结果的再现 ..... (38)

2.2.5 激光莫尔偏折法测定涡流室内温度分布结果分析 ..... (41)

2.2.6 快速响应电阻温度计测量涡流室内气体温度的结果分析 ..... (47)

2.2.7 小结 ..... (48)

2.3 涡流燃烧室内喷油和燃烧过程的研究 ..... (49)

2.3.1 吊钟型涡流室的高速摄影装置 ..... (49)

2.3.2 吊钟型涡流室的摄影结果及其分析 ..... (50)

2.3.3 彗星 V 号涡流燃烧室的高速摄影装置和拍摄结果 ..... (53)

2.3.4 小结 ..... (55)

2.4 改善涡流室式柴油机的燃烧以降低排放 ..... (56)

2.4.1 涡流室式柴油机的典型排放特性 ..... (56)

2.4.2 改善燃烧室结构设计以降低排放 ..... (57)

2.4.3 改进供油系统以降低排放 ..... (65)

2.4.4	利用废气再循环以降低排放 .....	(73)
2.4.5	小结 .....	(74)
	参考文献 .....	(75)
<b>第三章</b>	<b>燃烧模型与模拟计算 .....</b>	<b>(78)</b>
3.1	零维模型 .....	(78)
3.1.1	历史的回顾和当前的问题 .....	(78)
3.1.2	热力学模型分析 .....	(78)
3.1.3	连接通道流量系数的计算 .....	(85)
3.1.4	主、副燃烧室传热系数的确定 .....	(88)
3.1.5	零维模型的应用研究 .....	(93)
3.1.6	小结 .....	(98)
3.2	准维模型 .....	(99)
3.2.1	发展概述 .....	(99)
3.2.2	模型描述 .....	(100)
3.2.3	喷雾及空气卷吸子模型 .....	(102)
3.2.4	油滴蒸发燃烧子模型 .....	(104)
3.2.5	主燃室中混合燃烧子模型 .....	(108)
3.2.6	燃烧速率控制模型 .....	(110)
3.2.7	NO 生成子模型 .....	(110)
3.2.8	模拟计算结果与测试结果的对比 .....	(111)
3.2.9	小结 .....	(112)
3.3	多维模型 .....	(114)
3.3.1	发展概述 .....	(114)
3.3.2	喷雾子模型 .....	(114)
3.3.3	燃烧子模型 .....	(130)
3.3.4	小结 .....	(155)
	参考文献 .....	(156)
<b>第四章</b>	<b>涡流室式柴油机燃烧系统的发展与改进 .....</b>	<b>(160)</b>
4.1	发展目标 .....	(160)
4.2	燃烧系统的改进与发展 .....	(160)
4.2.1	日本尼桑 (Nissan) 公司对涡流燃烧室的改进 .....	(160)
4.2.2	日本三菱 (Mitsubishi) 公司对涡流燃烧室的改进 .....	(164)
4.2.3	先进彗星型 (Advanced comet) 涡流燃烧室 .....	(167)
4.2.4	日本久保田 (Kyobot) 公司设计的三旋流涡流室式燃烧方式 (TVCS) .....	(172)
4.2.5	我国开发的涡流燃烧室 .....	(172)
4.3	供油系统的改进与发展 .....	(174)
4.3.1	喷油器喉口几何尺寸的影响 .....	(174)

4.3.2 燃油喷射系统的改进·····	(175)
4.4 进气系统的改进和发展·····	(178)
4.4.1 采用空气动力(AD)进气口·····	(179)
4.4.2 采用斜进气口·····	(179)
4.5 小结·····	(180)
参考文献·····	(180)

# 第一章 绪 论

## 1.1 涡流室式柴油机的重要地位和发展动态

涡流室式柴油机在我国国民经济中占有重要地位。作为汽车、拖拉机、农用水泵、收割机、小型工程机械、小型船舶等的动力，它广泛应用于交通、农业、工业等各个部门。年产量近 800 万台，1995 年，江苏省的产量就达 300 多万台<sup>[1]</sup>。这是我国内燃机发展的一个明显的特色和优势。

表 1-1 世界各大汽车公司生产的轿车用涡流室式柴油机的主要技术参数

生产厂家	进气方式	缸径×行程 mm	排量 mL	最大功率 kW (r/min)	最大扭矩 N·m (r/min)	汽缸排列形 式及缸数
丰田	T	96×103	2982	96 (3600)	290 (2000)	L4
三菱	TC	95×100	2835	92 (4000)	294 (2000)	L4
	NA	95×100	2835	69 (4000)	191 (2000)	L4
	NA	104×105	3567	81 (3500)	255 (1800)	L4
五十铃	T	89.3×95	2380	63 (4300)	172 (2500)	L4
	T	95.4×107	3059	88 (3600)	270 (2000)	L4
	TC	95.4×107	3059	99 (3600)	294 (2000)	L4
	NA	95.4×107	3059	69 (3600)	202 (1800)	L4
日产	TC	84.5×88	1973	74 (4400)	206 (2400)	L4
	TC	84.5×88	1973	77 (4000)	221 (2000)	L4
日柴	T	96×96	4169	107 (4000)	330 (2000)	L5
大众	NA	75×72	1272	33.1 (4900)	75 (2700)	L4
	T	92×92	2446	61 (4200)	165 (2400)	L4
	TC	79.5×95.5	1900	55 (4400)	150 (2500)	L4
通用 (欧洲)	NA	76×80	1487	36.8 (4800)	90 (2400)	L4
	T	79×86	1686	60.3 (4400)	130 (2600)	L4
福特 (欧洲)	T	83×82	1753	50 (4200)	148 (2000)	L4
	NA	94×90	2498	49.3 (4600)	121 (2000)	L4
罗密欧	TC	92×90	2393	82.4 (4200)	235 (2400)	L4
福特 (美国)	NA, EGR TC	82.5×82	1800	44 (4600)		L4
		82.5×82	1800	66 (4600)		L4
兰西亚	TC	83×90	1929	66.9 (4100)	186 (2400)	L4
雪铁龙	NA	75×77	1360	38.2 (5000)	86 (2500)	L4
	NA	93×92	2500	54.4 (4250)	154 (2000)	L4
西特	NA	83×79	1714	41.9 (4500)	98 (3000)	L4
本茨	T	87×84	1997	54.4 (4600)	126 (2700)	L4
	T	87×84	2497	68.4 (4600)	158 (2600)	L5

注：NA——自然进气 T——涡轮增压 TC——涡轮增压中冷 EGR——废气再循环

为了适应未来排放法规的严格要求,柴油机的研制和发展出现了一些新的动向<sup>[2-4]</sup>。最显著的一个趋势就是,涡流室式柴油机由于其燃烧系统特有的低排放、低噪音、高速适应性好等优势,在轿车方面受到青睐。法国 PSA 集团的小型轿车柴油机通常为非直喷自然吸气式,德国 VW (大众)公司于 1992 年将 1.6L 涡流室柴油机改为 1.9L 后用于 Golf 轿车中,此后,大众公司又加装涡轮增压器和氧化催化器,用于 Passat 轿车。Ford (福特)公司也于 1992 年将 1.6L 涡流室式柴油机引入 Mondeo 轿车中。表 1-1 为国外近年推出的车用涡流室柴油机。其中五十铃公司的 4FG2, 4JG2 等柴油机是由原来的直喷式机型改为涡流室式柴油机后而得到的。五十铃公司在其第五代车型的开发目标中,把“排放洁净,保护环境和人类健康”放在了首位。该公司新开发的涡流室式柴油机 4JG2 与原直喷式机型 4JB1 的有害排放物对比,碳烟和 NO<sub>x</sub> 的排放量下降了一半左右,同时,在较宽的转速和负荷范围内整机的噪音也大幅度下降<sup>[5]</sup>。

近年来,由于我国汽车保有量的增加,各大城市曾不同程度地出现过碳烟污染、光化学污染和酸雨污染<sup>[6]</sup>。国家制定了一系列排放法规。北京、上海、广州等大城市均已开始对车辆的有害排放物实行控制。表 1-2 为我国即将实施的内燃机排放标准。虽然该标准与发达国家相比是相当宽松的,但对国产柴油机的测试表明<sup>[7]</sup>:大部分直喷式柴油机均达不到我国第一阶段排放标准,而涡流室式柴油机基本上可以满足这一阶段的排放标准。多年来的实践也表明,涡流室柴油机较适合我国的工业发展水平和用户使用水平,所以,近年来新开发的国产轻型车用高速柴油机大多为涡流室式机型,如表 1-3 所示。

表 1-2 未来我国内燃机排放标准

实施阶段	实施日期	CO (g/kW·h)	HC (g/kW·h)	NO <sub>x</sub> (g/kW·h)	PM (g/kW·h)	
					Ne<85kW	Ne>85kW
01	1997.10	11.2	2.4	14.4	1.0	0.92
02	2000.10	4.5	1.1	8.0	0.61	0.36
03	2004.10	4.0	1.1	7.0	0.15	0.15

表 1-3 国产车用柴油机的部分新机型

用途	生产厂	型号	燃烧室	缸数-缸径 ×行程 mm	排量 L	功率(转速) kW(r/min)	扭矩(转速) N·m(r/min)
轻型车	成都内燃机厂	490Q	IDI	4-90×100	2.54	52.9(3600)	161.8(2000)
轻型车	新昌柴油机厂	485QA	IDI	4-85×100	2.27	38.3(3000)	140(2000)
轻型车	无锡县柴油机厂	376Q	IDI	3-76×73	0.99	21.0(3600)	62(2400)
轻型车	莱阳动力机厂	495QA	IDI	4-95×105	2.97	56.0(3600)	183(2400)
轻型车	湖南华裕发动机公司	HY483	IDI	4-83×100	2.16	46.0(4000)	132(2000)
轻型车	广济动力机厂	475Q	IDI	4-75×85	1.50	24.0(3000)	86.5(2100)

虽然涡流室式柴油机有诸多优点,但与直喷式柴油机相比,也存在燃油消耗率高、起动困难等缺点。深入研究涡流室式柴油机的燃烧过程和燃烧系统,对进一步发挥其优点,

克服缺点,有着重要的意义。而且对于促进燃烧学在实践中发展,也有着重要的科学意义。

## 1.2 涡流室式柴油机燃烧过程和燃烧系统的研究动向

涡流室式柴油机燃烧过程作为整个工作过程的最重要的一环,组织得好坏直接影响柴油机的经济性、动力性和有害排放物的生成。在环境问题日趋严峻的今天,有害排放物越来越受到重视。因此,燃烧过程和燃烧系统的主要研究动向集中在降低有害排放量,与此同时,基于节约能源考虑,也要求降低燃油消耗量。为达上述目标,以下三方面的研究最为活跃:

(1) 采用先进的测试技术对涡流燃烧室内的温度场、速度场、浓度场进行测量,从而大大提高了测量参数的时间和空间的分辨率、准确性和实时性,使对多种脉动量及多种燃烧中间成分的测量成为可能,并为深入认识和理解涡流燃烧室内的过程,为建立和发展理论模型,研制新型燃烧系统提供实验基础。

(2) 对涡流室式柴油机燃烧过程进行计算机模拟,现在已发展到对三维、非定常、多相流、有化学反应的实际过程进行数值计算,给出热物理参数的分布及其变化,预测柴油机性能和排放水平,为柴油机优化设计和优化控制提供依据。

(3) 开发和研制新型的涡流燃烧室。近年来,国内外内燃机工作者为开发和研制新型涡流燃烧室做了不少工作,取得了一些新的研究成果。如日本三菱公司的涡流室连接通道由两段角度不同的通道组成<sup>[8]</sup>,主燃烧室为楔形结构,这样既提高了通道流量系数又增加了燃气在主燃烧室中的扩散与穿透,从而提高了柴油机的放热等容度,缩短了燃烧滞后期,最终改善了柴油机的性能。久保田公司的3旋流涡流室式燃烧系统(ETVSC)<sup>[9]</sup>通过镶块通道形状与活塞顶部凹坑的最佳匹配以及喷油特性的最佳化,使得采用这种燃烧方式的柴油机无论是经济性还是排放、噪声等都较好。日本丰田公司在改进燃烧室结构设计以降低有害排放方面做了大量工作<sup>[10-12]</sup>。我们曾改进常柴Ⅱ号吊钟型涡流室并配以双楔形主燃烧室也取得了降低油耗、减少NO<sub>x</sub>效果<sup>[13]</sup>。

但是,现有的涡流燃烧室都未能克服该型燃烧室的基本缺点,要做到这一点,必须在结构上有所突破。为此,我们在对涡流室的温度场、浓度场、速度场以及燃烧过程作了多年基础研究的基础上,发展了一种新的涡流燃烧室结构<sup>[14]</sup>。

当然,随着基础研究的继续深入,涡流燃烧室的结构设计将会进一步得到改进和发展。

## 1.3 本书的主要目的和主要内容

本书的主要目的是把近十多年来国内外有关涡流室式柴油机的燃烧过程和燃烧系统的研究成果全面系统地介绍给读者,为研究人员进一步深化这一问题的研究,为工程师改进现有涡流燃烧室和发展新的燃烧系统,提供一个基本的参考书。

本书主要内容分四部分。第一部分绪论,论述了涡流室式柴油机在国民经济中的重要地位和发展动态,介绍了涡流燃烧室的研究动向;第二部分介绍涡流室式柴油机燃烧过程和燃烧系统的近期实验研究及其成果。第三部分是涡流室式柴油机燃烧过程的模拟计算。

第四部分介绍一些新型涡流燃烧系统。

涡流室式柴油机燃烧过程和燃烧系统涉及到诸多方面,而且有关研究内容仍在发展,因此,本书没有也不可能包括所有方面,实际上本书主要概括了著者多年的研究内容。

## 参 考 文 献

- [1] 李效良,小功率柴油机产业市场动态分析,柴油机,1997(4):40—42.
- [2] 陈秀梅,张永杰,车用柴油机的现状与发展趋势,世界汽车,1995(1).
- [3] 资新运,张春润等,车用柴油机排气微粒控制技术的发展,世界汽车,1995(1).
- [4] 李建新,张玉花,95日本车用发动机工业态势及技术特点,车用发动机,1997(4):1—7.
- [5] 内田雅清,松岛丰,五十铃 4JG2 型车用发动机,国外内燃机,1994(4).
- [6] 陶明德,国内外机动车排放与控制概况,上海汽车,1997(6):7—10.
- [7] 朱炳全,国产柴油机废气排放水平,上海内燃机研究所科技资料.
- [8] H. Tamura, K. Imoto, et al., New Systems of I/DI Diesel Engine for Passenger Car Application, SAE Paper 890262.
- [9] 寺下清司,山田喜一郎,小型通用柴油机的发展动向,国外内燃机,1995(1).
- [10] 中北清己,稻吉三七二等,涡流室式ディーゼル機関の燃焼改善による排気浄化,第3報:中負荷時のスモタ生成要因とその低減,自動車技術会論文集,9639175,1996,4(27):45—51. SAE Paper 980503(1998).
- [11] 小川孝,佐藤武等,渦流室式ディーゼル機関の燃焼改善による排気浄化,第1報:噴射系・燃焼室改良による $\text{NO}_x$ ・パーティキュレートの同時低減,自動車技術会論文集,9639157,1996,4(27):33—38.
- [12] 堀田義博,渦流室式ディーゼル機関の燃焼改善による排気浄化,第2報:初期噴射率抑制による低負荷時のパーティキュレート低減,自動車技術会論文集,9639166,1996,4(27):35—44. SAE Paper 980503(1998).
- [13] 李德桃,柴油机涡流燃烧室的研究与设计,机械工业出版社,1986.
- [14] 田东波,杨文明,李德桃等,柴油机涡流室新的结构设计,燃烧科学与技术,1997,3(4).



## 第二章 基础实验和分析计算

### 2.1 涡流室内的空气运动

#### 2.1.1 实验研究和数值模拟的现状和进展

关于柴油机涡流室内气流运动的规律和特性,大体说来,20世纪80年代中以前的研究进展和成果,著者已在文献<sup>[1]</sup>中作了系统的报道、分析和评述,这里就不重述。此后,研究人员通过基础实验研究和模拟计算,又在以下几方面取得了进展。

##### 1. 气流平均速度和湍流强度的分布规律

宫本登等采用热线风速仪研究了球形涡流室内气流运动平均速度 $\bar{u}$ 和湍流强度 $u'$ 的分布<sup>[2]</sup>。研究表明,沿球形涡流室半径 $r_0$ 方向平均速度呈放射线形状分布,而湍流强度则变化较小。相对湍流强度值越靠涡流室中心越大(图2-1)。沿球形涡流室圆周方向,平均速度在连接通道口附近处其值最大,在其他位置处速度变化较小,几乎保持一稳定值(图2-2)。随着曲轴转角变化,平均速度存在最大值。对于湍流强度,随曲轴转角增加,仅在连接通道处有所增加,而在另一侧湍流强度几乎保持一定值(图2-3)。小松源一、池上询等的研究结果也有类似结论<sup>[3]</sup>。武善谋等<sup>[4]</sup>用热线风速仪测量吊钟型涡流室内的流场

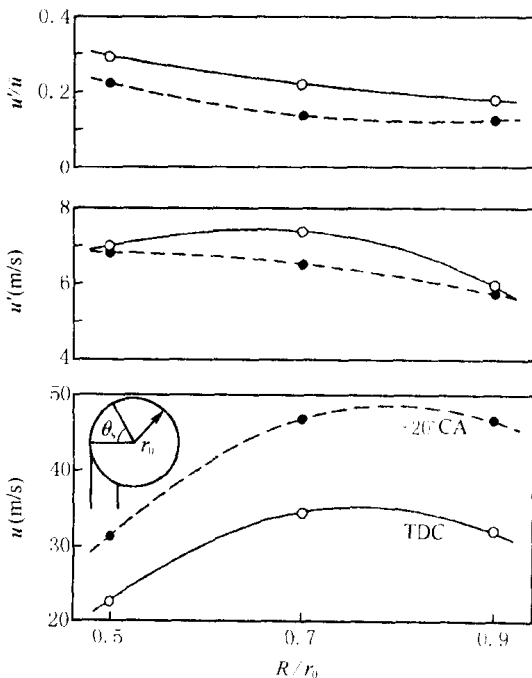


图 2-1 平均流速 $\bar{u}$ 及湍流强度 $u'$ 与涡流室半径方向位置 $R/r_0$ 关系

( $\theta=0$ ,从连接通道流入涡流室的平均速度 $U_m=197\text{m/s}$ , $R$ 为从涡流室中心至测点的距离)

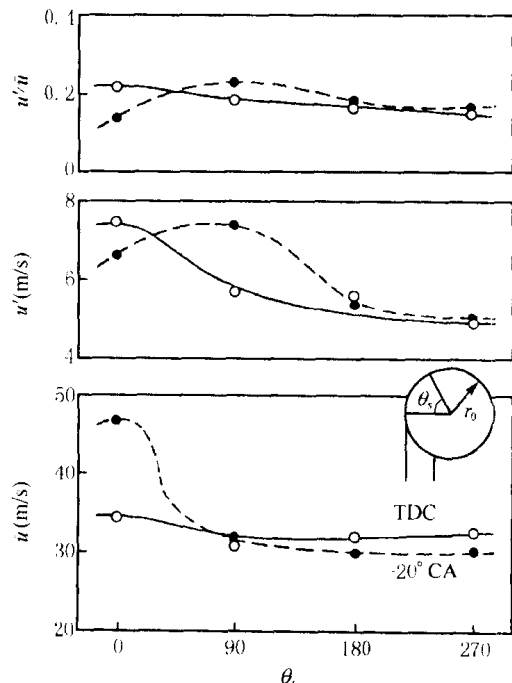


图 2-2 平均流速 $\bar{u}$ 及湍流强度 $u'$ 与涡流室圆周方向位置 $\theta$ 的关系

( $R/r_0=0.7$ , $U_m=197\text{m/s}$ )