



中国科技翻译出版基金

Opposed Piston Engines: Evolution, Use, and Future Applications

对置活塞发动机

【英】Jean-Pierre Pirault, Martin Flint 著

张然治 吴建全 谭建松 等译



国防工业出版社

National Defense Industry Press

著作权合同登记 图字:军-2011-019 号

图书在版编目(CIP)数据

对置活塞发动机/(英)皮罗(Pirault, J. P.), (英)弗林特(Flint, M.)著;张然治等译. --北京:国防工业出版社, 2012. 11

书名原文:Opposed piston engines: evolution, use, and future applications

ISBN 978-7-118-08390-3

I. ①对... II. ①皮... ②弗... ③张... III. ①活塞式发动机-研究 IV. ①TK05

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第315805号

Translation from the English language edition:

Originally published in the English Language by SAE International, 400

Commonwealth Drive, Warrendale, PA 15096-0001, USA, as *Opposed Piston Engines: Evolution, Use, and Future Applications*, by Jean-Pierre Pirault and Martin Flint, ISBN: 978-0-7680-1800-4.

Copyright © 2009 SAE International.

本书简体中文版由 SAE International 授权国防工业出版社独家出版发行。

版权所有,侵权必究。

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路23号 邮政编码100048)

北京奥鑫印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 787 × 1092 1/16 印张 25¼ 字数 622 千字

2012年11月第1版第1次印刷 印数 1—2000册 定价 85.00元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)88540777

发行邮购:(010)88540776

发行传真:(010)88540755

发行业务:(010)88540717

译审委员会

主 任
副 主 任
委 员

(以姓氏笔画为序)

王增全

甄彦斌

马朝臣

冯雪艳

孙利魏

杨震寰

张儒华

徐久军

黄树和

张然治

王 曼

刘 焯

李建忠

张 洁

张然治

徐广辉

王根全

邢卫东

苏铁熊

吴建全

岳文忠

徐亚洲

褚全红

吴建全

王晓滕

刘乃环

李建新

张之宇

陈晓飞

葛玉霞

孔 冰

刘 毅

李玉峰

张杨军

郝利剑

徐春龙

谭建松

谭建松

田永海

刘长振

李媛媛

张卫东

赵静宇

解志民

左正兴

许世永

李志刚

张继忠

骆清国

黄 辉

樊文欣

朱锐锋

孙丹红

吴建全

张冬梅

段金栋

谭建松

总 审 校
翻 译

(以姓氏笔画为序)

译者序

本书是英国动力系统技术公司资深专家吉恩·皮埃尔·皮罗与里卡多公司知名设计师马丁·弗林特共同编著的一本关于对置活塞发动机的专著,就对置活塞发动机进行了深入探讨。对置活塞发动机是一种结构简单的动力装置。本书对自 1887 年到 2006 年出现的大部分对置活塞发动机首次进行了详细描述,深入探讨了对置活塞发动机在固定式、地面、船舶以及航空等应用领域中的设计和性能,追溯了其演变过程,并对其未来的发展进行了预测。

本书中的内容均源自作者长期在对置活塞发动机工程设计领域的实践经验,通过参考历史和未出版的内部研究报告,阐述了对置活塞发动机的基本原理,包括其多元化的结构、详细的设计细节、性能数据、加工细节、主要工程师及其应用。通过与四冲程发动机的比较,作者认为应重新考虑对置活塞发动机在某些领域中的应用。本书内容详实,图文并茂,对于发动机行业的设计研究和生产制造人员以及高等院校相关专业的师生全面了解创新发动机的历史、现状及未来发展前景具有较高的参考价值,对工程实践具有较好的指导作用。

本书的翻译本着忠实原文的原则,力求做到准确无误,并在书后附有缩写词和人名、地名和专有名词中英文对照表,以便读者在阅读时对照参考。

参加本书翻译的人员有:张然治、吴建全、谭建松、孙丹红、张冬梅、李媛媛、张卫东、段金栋、田永海、解志民、徐广辉、张洁、王曼、葛玉霞、刘焯、陈晓飞、李建新、刘长振、刘乃环、张之宇、李建忠、王晓滕、朱锐峰、赵静宇。

由于时间紧迫和水平有限,翻译不妥和错误之处在所难免,敬请各位有识之士不吝赐教,批评指正。

译者
2012年5月1日

作者简介

吉恩·皮埃尔·皮罗 (Jean-Pierre Pirault) 最初在滑动轴承制造商范德维尔产品公司的研发实验室工作,后来先后到里卡多公司、福特汽车公司、捷豹公司和 AVL 公司供职。他目前在动力系统科技有限公司工作,在英格兰南部担任发动机顾问。



马丁·弗林特 (Martin Flint) 是特许机械工



师和机械工程师学会资深会员。他曾在英国米德尔塞克斯郡索撒尔的联合设备公司 (AEC) 作为契约学徒培训,这里是孕育商用车和柴油机设计师和制造商的摇篮。在其职业生涯,他先后分别在德国和加拿大的道依茨公司、英国内燃机研究所 (BICERI)、帕金斯公司、罗尔斯·罗伊斯公司和里卡多公司工作,积累了发动机制造、设计、研发和试验测试等诸多方面的丰富经验。

本书的出版是作者之间偶然的一次谈话促成的,谈到一个同事在搬家之前要清理以往存在车库里的陈旧技术文件纸箱。这些在一起工作过的同事,其职业生涯的大部分时间都从事发动机的研发工作,保留了大量陈旧的发动机文件,因其年久和缺乏使用价值即将被焚毁,其中包括一些众所周知的,但已经不再生产的对置活塞 (OP) 发动机。

两位作者认为有必要继续对他们同事所保存的文件加以保护并扩充内容,并将这些数据保存到光盘中。这本书的目的是采取一种更积极的形式保存一个特定的主题,即对置活塞发动机。

原书前言

本书综述了对置活塞发动机的发展历史、现状以及在未来应用方面所面临的挑战。在与有关工程师进行深入探讨和详细研究的基础上,全面回顾了自 19 世纪末以来对置活塞发动机的演变,澳伊切尔·霍伊泽尔、容克以及比德莫尔二冲程动力装置在热效率和比功率方面向奥托循环发动机和狄塞尔循环发动机提出了第一次严重挑战,同时这些发动机还具有制造工艺简单的优点。对早期对置活塞柴油机的许多独特结构进行了详细深入地描述,例如,费尔班克斯·莫尔斯中速发动机,从首台原理样机面世以来该产品的生产已经超过 70 年,目前仍然在美国生产;而容克尤莫 205E 和 207B2 重型发动机是唯一指定用于商用飞机的柴油机,具有杰出的单位质量功率和制动热效率。

在船用领域,详细介绍了美国马克舷外对置活塞发动机;全面回顾了纳皮尔·德尔蒂克三曲轴发动机,目前该发动机仍然具有无与伦比的功率密度和单位体积功率;对杰出的多克斯福德单曲轴对置活塞高可靠发动机进行了全面介绍,该机从 1923 年至 1980 年为成千上万吨的商船提供了动力。汽车使用对置活塞发动机的例子包括火花点燃式艾菲卡(AFRICAR)轻型风冷发动机,作为 20 世纪 60 年代英国中型卡车成功标志的罗茨 TS3 发动机,以及二战后用于苏联、法国、英国、中东各国、伊朗和印度等国军用车辆的众多陆基对置活塞发动机。

本书对这些对置活塞发动机的总体结构和许多特点进行了系统的归纳总结,对具体项目进行了仔细研究,并通过与各种四冲程发动机可能获得的信息进行比较,对关键设计特点和性能参数进行了大量研究。书中专门利用一个章节介绍各种研究项目,对置活塞式发动机早在 1941 年就以复合涡轮增压的形式出现,且绝对增压压力达到 0.6MPa,在 1935 年制动热效率就达到了近 41%,1960 年达到了 43%。由于可以满足质量功率和小体积的需要,且制造简单,这类发动机未来很可能用作小型发电机组或轻型飞机和无人飞行器的通用发动机。在应对重型卡车排放和现代氧化催化剂等节能减排问题方面,重点探讨了这些二冲程发动机的高扭矩输出能力和固有的缸内 NO_x 低排放潜力。

马丁·弗林特和吉恩·皮埃尔·皮罗在动力系统制造、多种类型发动机产品设计、开发和研究领域合作了大约 60 年的时间。为了撰写这本书,他们招募了众多专家对 50 多年积淀的发动机经验进行了全面回顾(原文中“60 年”和“50 多年”误为“90 年”和“500 多年”,有误——译者注)。此外,德国、法国、瑞士、美国、新西兰和英国等国家的许多档案馆和博物馆对这项工作提供了宝贵的支持。从事这些非常规发动机构思、设计、开发、制造的工程师和企业除了提供技术信息外,还提供了一些趣闻轶事。

本书具有很好的可读性,有 500 多幅插图和图表曲线,可供有兴趣研究这些特殊发动机的读者参考使用,以便全面了解这种结构简单、坚实耐用和极具成本效益的动力装置的卓越性能和燃油经济性。这是一种非常值得认真研究和具有未来发展前景的动力装置!

汽车工程师协会 2008 年度主席
汤姆·瑞安二世

致 谢

《对置活塞发动机》一书的成功出版,得益于各界人士的大力支持和帮助,在此特向对本书出版提供帮助和做出贡献的人士表示衷心的感谢。以下排列的次序是随意的,没有按照字母或者特殊顺序排列,排名不分先后。

特别感谢以下为本书提供主要素材和图片以及书稿校对的人员:

瓦锡兰公司的大卫·布朗,NSD 瑞士有限公司(正式名称为苏尔寿公司);唐·特赖霍恩和约翰·爱德华,阿惠(工程)公司的退休工程师,前工作组主席;罗-罗分布式发电系统公司的格雷厄姆·史密斯和詹姆斯·维克曼;罗茨集团退休工程师唐·凯奇和格雷厄姆·金伯;前罗茨集团蒂林·蒂芬分部的约翰·哈代;雷兰德汽车公司(现为 mi 技术公司)退休工程师约翰·法恩沃思;考克发动机公司退休工程师斯坦·萨克林;多克斯福德公司退休设计师约翰·乔丹;退休的工业历史学家罗伯特考克斯;特洛伊博览馆信托公司的大卫·汉伯顿;柴油机航空有限公司的大卫·索尔;德尔福柴油系统公司的菲利普·丁格尔;EcoMotors 公司的彼得·霍夫鲍尔教授;西南研究所和 SAE 的汤姆·瑞安。

感谢那些提供了许多帮助、版权许可和值得感谢的人:德国德绍市雨果·容克斯技术博物馆的赫尔·于贝尔先生;hugo junkers@ yahoo. de 网站的霍斯特·佐勒尔;英国科克福德皇家空军博物馆的艾伦·麦克莱恩;曼恩 B&W 柴油机有限公司(正式名称为帕克斯曼公司)的诺曼·杰弗里;伦敦科学博物馆的鲁珀特·埃利斯;路德维希堡航空档案馆的乌多·哈夫纳;泰恩-威尔博物馆/档案馆的约翰·克雷森和科林·博伊德;纳皮尔动力文物信托公司的奈杰尔·潘恩和艾伦·维西;海事工程师学会的约翰·布彻斯;汽车工程师和 PE 出版社的彼得·威廉姆斯和约翰·普林;机械工程师学会和 Bookmarque 出版社的约翰·罗斯;美国马里兰州沃顿溪码头的约翰·帕特诺维奇;英国北安普顿郡罗尔斯·罗伊斯爱好者俱乐部的菲利普·霍尔;英国巴温顿坦克博物馆的斯图尔特·惠勒和贾尼丝·泰特;英国特洛伊木马出版社的 What Diesel 和柴油车杂志的伊恩·罗伯逊;特洛伊公司的迈克尔·拉塞尔;新西兰 TS3/4 爱好者霍华德·佩蒂格鲁和马克·厄斯金;机动船墨卡托传媒有限公司的比尔·托马斯;英国雷兰德汽车公司(现为 mi 技术公司)的迪克·彭杰利和盖伊·比斯利;英国阿伯菲尔德皇家电气和机械工程师集团技术博物馆(雷默博物馆)的查尔斯·埃尔西;美国威斯康星州贝洛伊特费莫公司的乔·艾维斯、布雷特·贝格赫费尔、卢克·弗雷德里克森和帕特里克·伯西;前文森特公司的工程师鲍勃·卡尔弗;美国陆军坦克机动车辆司令部(TACOM)的查尔斯·拉法和欧内斯特·施瓦茨;邦纳工程有限公司的比尔·邦纳和托尼·帕尔默;柴油机航空公司的大卫·索尔;英国航空泽西公司的海德里·格里菲斯;巴黎阿姆斯军工厂的阿尔诺·佩耶;考文垂交通博物馆保

管员莉齐·黑兹尔赫斯特;最后是科梅故事(Commer Story)的作者杰夫·卡弗希尔。

特别感谢玛莎·思维斯和国际汽车工程师协会团队提供的所有帮助和建议。

对于位于英国滨海肖勒姆的动力总成技术有限公司皮埃尔的同事在技术、IT 方面提供的帮助和配合表示感谢。

对于在此没有提到的那些提供帮助和做出贡献的人表示感激。

最后,作者对在本书研究、写作和准备的三年期间,家人所给予的鼓舞、耐心和道义上的支持表示诚挚的感谢。

目 录

第 1 章 对置活塞发动机简介	1
1.1 引言	1
1.2 对置活塞发动机的基本原理	1
1.3 对置活塞发动机面临的问题	4
1.4 对置活塞发动机的类型	6
1.4.1 无曲轴对置活塞发动机	8
1.4.2 单曲轴对置活塞发动机	8
1.4.3 双曲轴对置活塞发动机	10
1.4.4 多曲轴对置活塞发动机	10
1.4.5 旋转对置活塞发动机	11
1.4.6 筒形凸轮发动机	12
1.5 对置活塞发动机当前的实用性.....	12
1.6 总结.....	13
参考文献	13
第 2 章 对置活塞发动机的历史	14
2.1 背景.....	14
2.2 1900 年以前	14
2.2.1 吉勒斯和维蒂希发动机	14
2.2.2 T·H·卢卡斯发动机	15
2.2.3 罗布森发动机	16
2.2.4 澳伊切尔·霍伊泽尔和容克发动机.....	16
2.2.5 1900 年前对置活塞发动机开发的总结.....	18
2.3 1900 年—1945 年	18
2.3.1 R·卢卡斯汽车发动机	18
2.3.2 容克串联发动机	22
2.3.3 比尔德莫尔—澳伊切尔·霍伊泽尔发动机	22
2.3.4 富拉格燃气发动机	23
2.3.5 雨果·容克土木工程公司、容克公司和尤克拉公司的重油 发动机	26
2.3.6 多克斯福德发动机	29
2.3.7 英国电气公司“Q”系列和“R”系列发动机	31
2.3.8 费尔班克斯·莫尔斯发动机	31
2.3.9 纳皮尔·寇菲林发动机	32

2.3.10	里尔发动机公司发动机	33
2.3.11	苏尔寿发动机	33
2.4	1945 年以后	35
2.4.1	文森特空降救生艇发动机	35
2.4.2	纳皮尔·德尔蒂克发动机	36
2.4.3	罗尔斯·罗伊斯 K60 型发动机和 K60T 型发动机	37
2.4.4	雷兰德 L60 型发动机	37
2.4.5	考文垂·克莱玛克斯 H30 型发动机	38
2.4.6	巴黎兵器工厂发动机	39
2.4.7	罗茨 TS3 型发动机	39
2.4.8	西南研究院 PTC 发动机概念	40
2.4.9	克虏伯复合对置自由活塞发动机与液力传动	40
2.4.10	哈尔科夫·莫洛佐夫发动机	41
2.4.11	艾菲卡发动机	41
2.4.12	航空柴油机公司发动机	41
2.4.13	美国马克公司发动机	42
2.4.14	2009 年后的对置活塞发动机	42
	参考文献	43
第 3 章	航空对置活塞发动机	44
3.1	引言	44
3.2	容克公司尤莫 205 型发动机	47
3.2.1	引言	47
3.2.2	背景	47
3.2.3	尤莫 5/205 型发动机系列	48
3.2.4	总体结构	50
3.2.5	主要特点	50
3.2.6	制造	66
3.2.7	性能	69
3.2.8	机械性能	72
3.2.9	使用经验	73
3.2.10	应用	73
3.2.11	总结	74
3.2.12	工程师和遗产	75
3.3	容克尤莫 207B2 型发动机	76
3.3.1	引言	76
3.3.2	概述	76
3.3.3	尤莫 207 型发动机和尤莫 205E 型发动机的细微差别	77
3.3.4	系统性能	84
3.3.5	控制和运行数据	85
3.3.6	涡轮增压器制造	86

3.3.7 总结	86
3.4 航空柴油机公司发动机	86
3.4.1 引言	86
3.4.2 概述	87
3.4.3 性能、重量和体积	89
参考文献	90
第4章 车用对置活塞发动机	92
4.1 引言	92
4.2 无气门对置活塞发动机	92
4.2.1 引言	92
4.2.2 概述	93
4.2.3 性能	94
4.2.4 制造	94
4.3 特洛伊对置活塞发动机汽车公司	95
4.3.1 引言	95
4.3.2 概述	96
4.3.3 性能和燃油经济性	97
4.3.4 应用	98
4.3.5 遗产	99
4.4 MAP 对置活塞发动机	99
4.4.1 引言	99
4.4.2 概述	99
4.4.3 性能、质量和体积	100
4.4.4 应用	101
4.5 罗茨-科梅 TS3 型发动机和 TS4 型发动机	101
4.5.1 引言	101
4.5.2 发动机技术规格	102
4.5.3 总体结构	103
4.5.4 主要特点	105
4.5.5 发动机型号及发展	109
4.5.6 性能	110
4.5.7 应用	114
4.5.8 人物、制造、TS4 型发动机及遗产	115
4.6 对置活塞对置气缸“OPOC™”发动机	118
4.6.1 背景	118
4.6.2 主要特点	119
4.6.3 性能	120
4.6.4 小结	121
参考文献	122
第5章 军用对置活塞发动机	123

5.1	简介	123
5.2	雷兰德 L60 型发动机	124
5.2.1	简介	124
5.2.2	发动机技术规格	125
5.2.3	总体布置	125
5.2.4	主要特点	128
5.2.5	性能	136
5.2.6	应用和历史	136
5.3	罗罗 K60 型发动机和 K60T 型发动机	138
5.3.1	简介	138
5.3.2	发动机技术规格	138
5.3.3	总体结构	139
5.3.4	主要特点	141
5.3.5	性能	144
5.3.6	燃烧系统的最高气缸压力	146
5.3.7	生产制造	147
5.3.8	使用维护保养经验	148
5.3.9	应用	148
5.3.10	遗产	148
5.4	哈尔科夫莫罗佐夫机械设计院	149
5.4.1	背景	149
5.4.2	发动机数据	149
	参考文献	150
第 6 章	船用对置活塞发动机	151
6.1	引言	151
6.2	多克斯福德发动机	151
6.2.1	引言	151
6.2.2	简史	152
6.2.3	多克斯福德 J 型发动机的总体布置和技术规格	157
6.2.4	发动机零部件的主要特点	159
6.2.5	性能	176
6.2.6	发动机体积和重量	177
6.2.7	生产、人物和传统	178
6.3	纳皮尔·德尔蒂克发动机	180
6.3.1	简介	180
6.3.2	简史	181
6.3.3	三角型发动机的设计原理	182
6.3.4	一般技术规格	183
6.3.5	总体布置	184
6.3.6	主要部件、零部件和系统	185

6.3.7	性能	202
6.3.8	制造及应用	205
6.3.9	工程师和遗产	207
6.4	美国马克 10 型发动机	208
6.4.1	背景	208
6.4.2	总体布置	208
6.4.3	系统和组件	209
6.4.4	曲柄连杆机构、传动机构和活塞	211
6.4.5	润滑系统	212
6.4.6	冷却系统	212
6.4.7	喷射及燃烧系统	213
6.4.8	附件驱动	214
6.4.9	应用	215
6.4.10	总结	215
6.5	文森特船用发动机	216
6.5.1	简介	216
6.5.2	发动机规格	216
6.5.3	总体结构和操作程序	218
6.5.4	主要特点	219
6.5.5	性能	225
6.5.6	应用	225
	参考文献	226
第 7 章	辅助动力用对置活塞发动机	227
7.1	辅助动力装置简介	227
7.2	考文垂·克莱玛克斯 H30 型发动机	227
7.2.1	简介	227
7.2.2	发动机技术规格	228
7.2.3	总体结构	228
7.2.4	主要部件	231
7.2.5	性能与开发	234
7.2.6	应用、加工和工艺	235
7.3	费莫 38 型对置活塞发动机	236
7.3.1	简介	236
7.3.2	总体布置	237
7.3.3	主要特点	238
7.3.4	火花点火燃气发动机	252
7.3.5	双燃料发动机	253
7.3.6	发动机性能	254
7.3.7	应用	257
7.3.8	人物	258

7.4	苏尔寿兄弟公司的 ZG 系列发动机	258
7.4.1	概述	258
7.4.2	3ZG9 型发动机综述	259
7.4.3	起动	268
7.4.4	英国内燃机研究协会(BICERA)性能评估	268
7.4.5	试验结果	268
7.4.6	应用	272
7.4.7	总结	273
7.5	英国电气公司富拉格 Q 系列与 R 系列发动机	274
7.5.1	简介	274
7.5.2	富拉格发动机的概念	274
7.5.3	总体布置	275
7.5.4	性能、燃油效率和功率密度	280
7.5.5	应用、加工和工程设计	280
	参考文献	282
第 8 章	特殊结构的对置活塞发动机	284
8.1	引言	284
8.2	费尔班克斯·莫尔斯潜艇用菱形对置活塞发动机	284
8.2.1	简介	284
8.2.2	发动机介绍	284
8.2.3	性能	286
8.3	艾菲卡对置活塞发动机	287
8.3.1	简介	287
8.3.2	发动机结构	287
8.3.3	艾菲卡发动机的主要特征	290
8.3.4	成果和评论	293
	参考文献	295
第 9 章	对置活塞研究、概念和样机	296
9.1	引言	296
9.2	研究背景	296
9.2.1	研究	296
9.2.2	英国和爱尔兰的研究	296
9.2.3	美国的研究	297
9.2.4	研究工作概述	298
9.3	研究发动机:苏尔寿兄弟公司 G 系列对置活塞发动机	298
9.3.1	简介	298
9.3.2	二冲程涡轮增压问题	299
9.3.3	苏尔寿公司的增压水平分类	299
9.3.4	预先研究	300
9.3.5	采用 4ZGA19 型发动机进行高增压研究	300

9.3.6	采用 G18 型发动机进行高增压研究	301
9.3.7	G32 系列	304
9.3.8	总体布置	304
9.3.9	性能	305
9.3.10	结构细节	305
9.3.11	总结	306
9.4	对置活塞发动机燃油 - 空气的混合与燃烧	306
9.4.1	中央喷射与侧面喷射的差别	306
9.4.2	罗茨 TS3 型发动机燃油喷射和燃烧的可视化研究 (1968 年)	307
9.4.3	模拟预测	313
9.4.4	OPOC™ 燃烧系统优化	316
9.4.5	总结	317
9.5	华莱士对高增压 TS3 型发动机的研究	317
9.5.1	背景	317
9.5.2	试验	317
9.5.3	结果	317
9.6	可变压缩比罗茨 TS3 型对置活塞发动机	320
9.6.1	背景	320
9.6.2	实验	320
9.6.3	结果	322
9.7	罗尔斯·罗伊斯公司双排摇臂“H12”型发动机构想	322
9.7.1	背景和概念说明	322
9.8	罗尔斯·罗伊斯双三内联多种燃料发动机	325
9.8.1	背景	325
9.8.2	设计特点	326
9.8.3	总结	326
9.9	阿惠摆臂式发动机	329
9.9.1	简介	329
9.9.2	英国在车用柴油机方面的首创精神	330
9.9.3	摆臂式发动机项目	331
9.9.4	市场策略	331
9.9.5	总体布置	332
9.9.6	开发结果分析	344
9.9.7	SBE 连杆几何结构与发动机比例	345
9.9.8	人物	346
9.10	先进的对置活塞柴油机演示验证	346
9.10.1	背景	346
9.10.2	试验	346
9.10.3	结果	348

9.11 对置活塞换气和增压系统	348
9.11.1 引言	348
9.11.2 分开式扫气系统	349
9.11.3 充量运动	349
9.11.4 二级“局部串联”涡轮增压	349
9.11.5 时控容积式扫气压气机	351
9.11.6 总结	352
参考文献	353
第10章 对置活塞发动机的应用与前景	356
10.1 前言	356
10.2 多用途发动机	356
10.3 8kW 级无人机发动机	359
10.4 80kW 级无人机发动机	362
10.5 400kW 级重型卡车发动机	363
10.5.1 当前的重型卡车四冲程发动机	363
10.5.2 推荐的对置活塞二冲程卡车发动机	363
10.5.3 重型卡车发动机的体积、重量和成本对比	366
10.6 实现技术	367
10.7 总结	370
参考文献	370
缩写词	372
人名、地名和专有名词对照表	374

第 1 章 对置活塞发动机简介

1.1 引言

由维蒂希(Wittig)研制的二冲程、气体燃料、对置活塞(OP)发动机约在1878年首次在德国公开应用^[1.1]。对置活塞发动机的特征是在一个气缸中有一对活塞,因而无需气缸盖。二冲程发动机的换气过程是通过活塞控制气缸套上的气口开闭来实现的。对置活塞概念也适用于二冲程柴油机和四冲程柴油机,但为实现所需的进、排气频率,高压比四冲程柴油机需要一个相当于其转速一半的筒阀式或旋转阀式气缸套。但在1900年前后,著名的戈布龙·布里耶(Gobron Brille)型赛车发动机却是一款采用提升阀的四冲程发动机,提升阀位于气缸套中心处的气门套管内。大多数对置活塞发动机都采用二冲程循环,或许为了简单起见,几乎所有的发动机都是压燃式柴油机,因为对置活塞发动机的目标是达到高热效率和高功率密度。

对置活塞发动机于1900年前后开始在陆地、海洋和航空交通等领域得到广泛的商业应用。尽管直到2009年,对置活塞发动机在美国、英国、俄罗斯、印度、伊朗和一些海湾国家仍有使用,但由于排放物与微粒的问题,特别是燃油中的微粒,其使用量已大大减少。

尽管对置活塞发动机的使用量减少了,但其已经确立了许多有关单位重量功率、动态优化、燃料适应性、安装空间、燃油效率和简化制造工艺等方面的标准。正因为如此,在某些需要强调功率与体积密度、简洁性与可靠性的应用领域,对置活塞发动机仍有一定的生存空间,例如航空领域与某些军用运输机的需求。

1.2 对置活塞发动机的基本原理

由后续章节可以更为清晰地看出,与四冲程发动机相比,对置活塞发动机因其易于制造、杰出的平衡性(甚至是单缸机)、优异的性能和燃油效率等特点而得以进化发展。这些优势在1890年前后的开发阶段就已形成,直到今天在自然进气发动机方面仍然保留。从1900年至1970年,随着对置活塞发动机开发的不断深入,又显现出了其他的显著优势,这些优势对于特殊用途是非常重要的。这些优势包括优异的升功率、高比扭矩、极高的单位重量功率和单位体积功率,无论在哪些应用领域,这些优势一直是精心研发的对置活塞发动机的品质特征。与四冲程发动机相比,对置活塞二冲程发动机还具有其他方面的优势:非常低的冷却液散热比(可使用较小的散热器进行散热)、高可靠性和低维护保养需求,非常易于使用,极好的多种燃料兼容性、低喷射压力以及简单的喷油嘴结构。

如后续章节所述,对置活塞发动机具有这些优势的原因既简单又充分。为了更好地证明这一点,图1.1和图1.2给出了1900年—2005年间对置活塞发动机和四冲程柴油机升功率和单位重量功率的比较。如图所示,在四冲程发动机完全采用涡轮增压之前,对置活塞发动机具有明显的优势。图1.3给出了对置活塞发动机和四冲程发动机制动热效率(BTE)的主要趋