

特种发动机原理与结构

THE PRINCIPLES & STRUCTURE OF UNUSUAL ENGINES

朱仙鼎 主编

上海科学技术出版社

TK05

Z.90-2

特种发动机原理与结构

朱仙鼎 主编

上海科学技术出版社

内 容 提 要

本书共有 7 章,从工作原理、结构设计、材料、燃料及全新概念的发动机等各个方面,系统、完整地介绍了特种发动机的原理与结构。本书还附有名词索引和参考文献。

本书可供从事发动机研究开发、设计制造技术人员、动力机械发明者、专利工作者、政府部门科技管理人员及大专院校有关专业师生参考。

主 编	朱仙鼎
副主编	王景祜
编 者	顾 瑛
	施其华
	刘世贤

特种发动机原理与结构

朱仙鼎 主编

上海科学技术出版社出版、发行

(上海瑞金二路 450 号)

新华书店上海发行所经销 常熟市印刷八厂印刷

开本 850×1156 1/32 印张 13.5 插页 4 字数 357 000

1998 年 9 月第 1 版 1998 年 9 月第 1 次印刷

印数 1-3 000

ISBN 7-5323-4630-7/TK·18

定价: 23.20 元

如遇印装质量问题,可直接向承印厂调换

地址:常熟市梅李镇通江路 21 号 邮编:215511

序

早在人类生存的初期,人们就试图用各种方法来替代人们繁重的体力劳动,这种迫切愿望就成了人类发明创造的动力。火(燃烧)是人类原始时期的第一个技术成就。恩格斯说:“只是人类学会了摩擦取火之后,人类才第一次使某种无生命力的自然力为自己服务”。火的利用使人类脱离了茹毛饮血的野蛮时代而进入文明时代。只是当火的利用由生活领域进入生产领域之后,它才真正成为推动人类进步的巨大力量。瓦特(James Watt)在 1776 年发明了过压蒸汽机。这是利用燃烧技术产生动力的一种发动机,这一伟大发明改变了几千年来靠人力或畜力推动世界进步的局面,引起了世界上第一次工业革命,极大地提高了生产力。

但是,蒸汽机是一种外燃机,热效率较低,单位功率的体积和重量偏大,因此,始终未能在陆地无轨交通和航空领域中推广使用。1876 年奥托(Otto)研制成功了一种热效率较高的四冲程点燃式内燃机。1885 ~ 1890 年阿克洛特(Ackroyd)和 1893 年狄塞尔(Diesel)发明了热效率更高的四冲程压燃式内燃机。此后,内燃机就逐步取代了蒸汽机而成为交通运输、农业机械、工程机械的主要动力。内燃机通过一百二十多年的不断研究改进,并在与其他动力装置的激烈竞争中,其性能和可靠性不断提高,从而使这种发动机始终立于不败之地,至今,仍是热效率最高和应用最广的原动机。但是,内燃机也有其固有的缺点,那就是它排出的有害产物,严重污染了环境,对人类的健康和植物的生长构成威胁。此外,世界上的石油资源逐渐枯竭,内燃机燃料需要更新。因此,许多国家已开展了有可能取代传统内燃机的新型发动机的研究开发工作和代替石油的代用燃料的研究工作。目前,内燃机,特别是汽车发动机正经历着一场深刻的变化。预计在 21 世纪,汽车发动机将是内

燃机、燃料电池和常规电池相互竞争的局面,而在内燃机代用燃料方面,则是石油、天然气、甲醇、乙醇、二甲基醚(DME)等多种燃料的竞争和并用。有不少专家认为,内燃机仍将是 21 世纪汽车的主要动力或主要动力之一,但它必须进一步提高热效率,减少排放污染,以满足 21 世纪所提出的更高要求。

在内燃机的一百多年发展过程中,研究工作者们对发动机的结构形式也曾打破常规进行了大量的研究探索工作,从而出现了一批机构新颖、构造特殊的发动机,如自由活塞发动机、转子发动机、凸轮发动机等,它们各具特色。虽然,因其性能或可靠性未能达到不断改善的传统内燃机的水平,没有获得普遍推广。但是,它们的结构具有许多优点,这种敢于大胆设想、突破传统的设计思想,是值得发动机设计人员学习和参考的。因此,朱仙鼎和王景祐等同志编写的这本《特种发动机原理和结构》参考书是很有意义的。希望此书的出版发行能达到预期的效果。



1997 年 9 月于天津

前 言

1992年机械工业出版社出版发行了由我们编著的《特种发动机》一书,遂即销售一空,许多读者不断来信来电甚至千里迢迢来沪求购、讨论设计方案及发明创造。1995年上海科学技术出版社在考虑新书选题时,认为在当今深化改革的时期,在科技兴国的年代,过去曾经深受读者欢迎的“特种发动机”将再度热起来,对它产生浓厚的兴趣。为此,约请我们在前书的基础上撰写《特种发动机原理与结构》一书。

参加本书编写工作的有王景祐(上海汽车工业总公司上海拖拉机内燃机公司高级工程师,中国内燃机学会特种发动机分会委员,美国SAE会员)、刘世贤(浙江大学内燃机教研室教授,中国内燃机学会特种发动机分会委员)、朱仙鼎(机械工业部上海内燃机研究所教授级高级工程师,中国内燃机学会特种发动机分会副主任委员,中国发明家协会会员,美国SAE会员)、施其华(中国农业大学内燃机教研室副教授)、顾斌(中国农业大学内燃机教研室教授,中国内燃机学会特种发动机分会委员)。

在本书编写过程中,得到中国科学院院士、内燃机学术权威、天津大学老校长史绍熙教授的指教,谨表谢忱。

尽管编者都是从事特种发动机教学、研制工作几十年的科技工作者,亲自参与设计制造试验研究过多种机型,积累了许多宝贵经验,但由于特种发动机研制工作发展较快,加之撰写时间仓促,搜集资料的局限,可能还有不少新型机种尚未编写进去。此外,由于编者水平有限,书中难免有错漏之处,敬请广大读者批评指正。

编 者

1997年10月

目 录

第1章 绪论	1
1.1 特种发动机的定义	1
1.2 回顾历史	1
1.3 创造未来	6
第2章 发动机特殊工作原理的探索	9
2.1 从历史上看探索工作原理对创造新型热力发动机 的重要性	9
2.2 对气体工质的热力发动机工作原理认识的不断深 化与开拓	18
2.2.1 热机发展史上早期出现的几种外可逆的热力循环	20
2.2.2 分析发动机热力循环的一般方法	26
2.2.3 在现有几种基本热力循环基础上的探索	30
2.2.4 对几种特种热力发动机工作原理的探索	81
2.2.5 对热力发动机能量转换效率的分析	123
2.3 非气体工质的几种特种热力发动机	126
2.3.1 以低沸点有机液体作工质的太阳能动力机	126
2.3.2 通过固体实现热力转换的发动机	128
2.4 热能以外各种能量形式对机械能的直接转换	130
2.4.1 太阳光能发动机	131
2.4.2 磁体动力推进技术	133
2.4.3 激光发动机	133
2.4.4 热声发动机	133
第3章 特种动力传输系统的发动机	140
3.1 动力传输系统概况	140
3.1.1 动力传输系统的概念	140
3.1.2 对动力传输系统的要求	141

3.1.3 曲柄连杆机构的特点及发展	141
3.2 动力通过非刚性传输的特种发动机	144
3.2.1 自由活塞发动机	144
3.2.2 自由活塞液压发动机	156
3.2.3 内燃打桩机	161
3.2.4 内燃水泵	165
3.3 活塞非直线运动的特种发动机	166
3.3.1 概述	166
3.3.2 三角转子发动机	171
3.3.3 柯尼达因旋转式发动机	211
3.3.4 两角转子发动机	214
3.3.5 摆动活塞发动机	217
3.4 采用空间传输机构的特种发动机	226
3.4.1 活塞式凸轮发动机	226
3.4.2 摆盘式发动机	231
3.4.3 活塞式周转斜盘发动机	235
3.5 采用其他各种传输机构的特种发动机	241
3.5.1 菱形传动热气机	242
3.5.2 四连杆摆块机构热气机	269
3.5.3 无连杆汽油机	273
第4章 特种材料发动机	280
4.1 概述	280
4.2 陶瓷发动机	280
4.2.1 概况	280
4.2.2 陶瓷材料的性能特点	282
4.2.3 陶瓷发动机的零件结构	286
4.2.4 陶瓷无水冷发动机	302
4.2.5 内燃机应用陶瓷材料的障碍	304
4.3 形状记忆合金热机	305
4.3.1 形状记忆合金	305
4.3.2 形状记忆合金热机的种类	307

4.4 塑料发动机	313
4.5 制造热气机某些零部件用特种材料介绍	313
4.5.1 热气机加热器组件用特种金属材料	313
4.5.2 热气机动密封用非金属材料	317
4.5.3 热气机无油润滑轴承及导向衬套的材料	325
第5章 非常规燃料发动机	328
5.1 人类的环境与非常规燃料发动机	328
5.1.1 以甲醇为代表的醇类燃料	328
5.1.2 天然气	328
5.1.3 车用电池	329
5.1.4 氢气	329
5.2 醇类燃料发动机	329
5.2.1 纯甲醇发动机的开发现状	330
5.2.2 压燃式甲醇发动机的研究	337
5.2.3 多液混合燃料发动机	342
5.3 天然气燃料发动机	347
5.3.1 压缩天然气(CNG)发动机	349
5.3.2 液化天然气(LNG)发动机	351
5.3.3 液化石油气(LPG)发动机	351
5.3.4 国外天然气发动机发展概况	354
5.4 氢发动机	356
5.4.1 美国各大学研制的氢发动机	356
5.4.2 日本研制的氢发动机	358
5.4.3 德国研制的氢发动机	359
第6章 发动机非常规机构	362
6.1 可变配气正时和可变气门升程的 VTEC 机构	362
6.2 动能进风口进气增压机构	367
6.3 可变涡流比机构	369
6.4 可变喷油速率和正时的电控机构	370
6.5 可变涡轮喷嘴环截面机构	371
6.6 可变废气再循环(EGR)机构	373

6.7 可变进气控制机构	373
6.7.1 多气门分阶段工作的可变进气机构	374
6.7.2 可变通路面积的进气机构	376
6.7.3 可变通路长度的进气机构	377
6.8 自控保温热面点火机构	378
6.9 椭圆形气缸和活塞机构	380
6.10 旋转式气门机构	382
6.10.1 旋转式气门机构开发现状	382
6.10.2 旋转式气门的应用前景	383
第7章 新概念发动机	386
7.1 移动燃烧室式发动机	386
7.1.1 新思路的诱发	386
7.1.2 基本结构及其工作循环	387
7.1.3 移动燃烧室式发动机的实际应用	390
7.1.4 性能比较	391
7.1.5 评价	395
7.2 太阳能电池和汽油机混合驱动发动机	396
7.2.1 混合驱动发动机的结构	397
7.2.2 混合驱动发动机的技术参数	398
7.2.3 混合驱动发动机的优缺点	399
7.3 车用电池 + 电动机混合驱动发动机	399
7.3.1 “车用电池 + 电动机”混合驱动发动机的关键技术	400
7.3.2 “车用电池 + 电动机”混合驱动发动机产业化所面临的 问题	416
名词索引	418

第1章 绪 论

在人类创造发明长河中,涌现出无数的能人志士,他们以辉煌无比的创造业绩名垂青史。人们记着蔡伦、祖冲之、牛顿、瓦特、史蒂芬森、爱迪生、居里夫人、怀特兄弟、爱因斯坦的英名,是他们作为智慧的骄子,在生产实践中,广泛运用各种知识,发明各种新产品、新设备、新工艺或揭示了自然界的新规律,从而在创造发展人类文明史的历程中起了显赫的作用。人们越来越深切地体验到创造发明给人类带来的益处。因而对科学家和他们的创造成果赞叹之余,清醒地意识到:应该在难以计数的、千差万别的创造活动中,找出一些带有普遍规律的东西来,把人类的创造活动从感性阶段推进到理性阶段。

我国是动力机原理及其许多传动机构的故乡,但古老的中国没有产生出先进的动力机械。这当然有其政治、经济和社会的种种原因。今天,我们回顾、总结和分析动力机的发明和发展的历史,以借鉴当前,启示日后,尤其是对未来动力机的预测,是十分必要的。

1.1 特种发动机的定义

“特种发动机”是在动力机的发明和发展过程中,在一定的历史阶段,对当时流行结构以外的动力机的统称。例如,在蒸汽机极盛时代,活塞式内燃机可算是一种特种发动机,可是在活塞式内燃机极盛的今天,它就变成了“常规发动机”,而其他形式的动力机(包括结构新颖的蒸汽机在内)则成为“特种发动机”了。由此可见,“特种发动机”的概念具有时代性、相对性和动态性。

1.2 回顾历史

近代内燃机的首次尝试就是火药机。大家知道,火药是我国

四大发明之一。唐代孙思邈于公元 850 年首次记录了黑火药的配方,13~14 世纪火药通过阿拉伯传至欧洲,在路易十四的“三十年战争”中得到大规模的使用。宋太祖开宝年间(公元 969~970 年),岳义方和冯继升发明了用火药推动的火箭。宋高宗时(公元 1132 年),陈规发明用火药作动力的“火枪”。大约在公元 1332~1351 年,我国制成了世界上第一尊大炮,名曰“神飞”铜炮,上刻“射穿百里,声动九天”。欧洲关于火箭和大炮的知识和技术是在以后经伊斯兰教国家和马可波罗传过去的。火药在炮筒内爆炸,把炮弹推射出去,好比在内燃机气缸里完成了一个冲程。往复式内燃机的主要结构是往复活塞和曲柄连杆机构。往复活塞式风箱由我国首创,在使用了 1400 年以后才传至欧洲。曲柄连杆机构早在东汉初年杜诗发明一种叫做“水排”的水力鼓风设备中就有其雏形;三国时魏人马钧发明的龙骨水车,就采用了一种曲柄连杆机构,它在中国应用一千多年后才传至欧洲。最迟在 1313 年,我国发明了轧棉机,它不仅采用了曲柄连杆机构,而且还应用了惯性飞轮原理。由此可见,我国古代劳动人民对热机的发明作出了卓越的贡献。但尽管如此,限于各时代的生产水平,毕竟没有发明近代的内燃机。1673~1680 年,荷兰物理学家柯·惠更斯(Christian Huygens)首先提出了真空活塞式火药内燃机的方案。它是利用火药燃烧的高温燃气在气缸内冷却后形成真空而带动活塞做功的,第一次把燃气与活塞直接联系起来,实现了“内燃”。1690 年惠更斯的朋友和助手,一位法国医生德·巴本(Denis Papin)在不断试验火药机失败以后,毅然放弃了火药机而设计了相当于真空原理的用水蒸汽作工质的活塞式发动机,成为近代蒸汽机的直接祖先。蒸汽机用煤做燃料,采用外燃的方法,无论从技术原理来说,还是就当时的生产条件来说,巴本开辟的这一新途径都是合理的。于是就立即引起广泛的研究和改进,终于在 1705~1711 年英国人纽科门(Newcomen)制成了矿井抽水用真空式蒸汽机(效率不到 1%);1776 年他的同胞瓦特(Watt)发明了水汽分离冷凝器,大大完善了蒸汽机。虽然其效率仅 3%,但已满足当时工业应用了,从此

开始了一个蒸汽机的时代。蒸汽机掀起了影响深远的工业革命,把资本主义生产方式推向第一个高潮。在 100 年左右的时间里,蒸汽机在不断改进中较好地满足了社会各方面的需要。到了 19 世纪中叶,蒸汽机作为唯一的动力机而达到了它的顶峰。

自从巴本抛弃火药机,开创蒸汽机事业以后,蒸汽机作为空前的技术进步得到人类的普遍欢迎和应用。但如前所述,在蒸汽机旭日东升之初,更先进的技术已在悄悄地孕育着。各种各样的动力机方案不断呈现在人类面前。可是当时的蒸汽机来势凶猛,其他动力机方案在初露头角的时候就被压了下去。然而,新生力量终究是压不住的,内燃机在沉默了 100 年之后,又冒出头来,开始了新的征途。

1794 年英国人罗伯特·斯却里塔(Robert Street)参考了瓦特蒸汽机的杠杆原理,提出了一种燃用松节油或柏油的内燃机。他的功绩在于首次提出了燃料与空气混合的原理。1799 年法国化学家莱蓬(Lebon)提出了另一个混合气式内燃机,他的功绩是首次建议采用照明煤气作燃料,并用电火花点火。这些创意在当时并没有引起人们的重视,只不过是纸上谈兵而已。

1820 年英国人塞歇尔(W. Cecil)发表了关于以所谓氢煤气为燃料的内燃机报告,并在实验室里获得了 60r/min 的成绩。虽然他最终未获成功,但内燃机毕竟动起来了。

1833 年英国人莱特(W.L. Wright)提出了所谓“爆发”发动机专利,第一次摆脱了真空发动机的框子,直接利用燃烧压力推动活塞做功。可是该专利未能实施。

1857 年意大利恩·巴尔桑奇(Engenio Bersanti)和马特依西(Matteucci)试验了当时称为“自由活塞”发动机,第一次实现了爆发做功。它并不采用曲柄连杆机构,而是活塞与输出轴之间采用齿条-齿轮装置联接。当活塞承受爆发压力时,齿条与齿轮脱开,活塞自由上行而与输出轴无关,活塞上行的高度取决于爆发能量的大小,上行到某一高度后便停止,动能转向活塞的势能,接着便排气。这种发动机爆发膨胀急速而充分,同时输出轴又避免了直

接承受爆发力。这种结构尽管可行,但显然不如蒸汽机上久经考验的曲柄连杆机构合理而有效。

经过如上 70 多年的摸索、改进和经验累积,1860 年法国人兰诺(Lenoir)终于研制成功第一台足以实用的煤气机。他没有提出新方案,只是把当时已取得的各项成就巧妙地结合起来。他首次采用了自胀式弹力环,克服了实际制造上的重重困难,完成了一部二冲程、无压缩、电火花点火的煤气机。它的外形和许多结构都与蒸汽机相类似。热效率仅 4.2%,点火装置也不可靠,但它毕竟运转起来了,很受中小企业的欢迎。这是内燃机第一次投入批量生产。到此为止,虽有了自胀式活塞环,但无论是真空机还是爆发机,燃料混合气都是不进行压缩的。因为对混合气在燃烧之前预先进行压缩要消耗额外功率,出于当时的认识水平,发明家们都力求避免对混合气进行压缩。后来随着数以百计的兰诺发动机投入使用,人们掀起了研究内燃机的热潮。大量的使用实践使人们逐步发现预先对混合气进行压缩可以提高热效率。1862 年法国铁路工程师包·德·罗沙(Beau de Rochas)在对内燃机热力过程进行理论分析之后,提出了提高内燃机效率的四项要求:1)单位气缸容积的冷却面积应尽量小;2)膨胀开始前气缸内压力应尽可能提高;3)膨胀时活塞的速率应尽可能快;4)膨胀范围应尽可能大。为此,他提出四项措施:1)要在活塞的向外行程内吸入新鲜混合气;2)在接着的向内行程内进行压缩;3)在上止点前附近点火,在下一个向外行程内膨胀;4)在下一个向内行程内排除废气。很明显,这是一次认识上的飞跃,他第一个提出了近代发动机等容燃烧的四冲程循环原理。可惜他的理论当时发表在法国一家地方刊物上,未被人发现。1876 年德国人涅·奥托(Nicolaus August Otto)终于研制成功第一台现代四冲程往复式内燃机。这是一台单缸、卧式、2.9kW 等容燃烧的煤气机。压缩比为 2.5 左右,采用曲柄连杆机构。结构小巧,运转平稳,热效率达 12% ~ 14%。奥托的四冲程内燃机很快得到了大量推广,性能也不断提高,1880 年功率已达 11 ~ 14.7kW,1893 年达到 147kW;而且热效率也迅速提高,1886 年达到

15.5%, 1894 年提高到 20% 以上。奥托因此获得了“内燃机发明人”的声誉。其实, 在他之前, 1873 年, 德国钟表工人哈·雷特曼 (Reithmann) 曾经研制成功一台四冲程煤气机, 与奥托打过专利权的官司。普鲁士法庭否定了奥托的发明权, 但由于雷特曼只是一名贫苦的工人, 无力及时地推进自己发明的发动机而被埋没了。1881 年英国人德·克拉克 (Dugald Clerk) 创造了第一台近代二冲程煤气机。既然有二冲程和四冲程, 那么是否可有三冲程、六冲程呢? 回答是可以的。在内燃机的发明史上, 出现过这样的“特种发动机”, 但都已被实践所否定。

至此为止所发明的内燃机几乎全部都是煤气机, 因为照明煤气是当时应用最广泛, 最易取得的能源, 但煤气机具有下列三大缺点:

- (1) 煤气热值较低。
- (2) 煤气机的效率低。

(3) 煤气机在应用上受到煤气管道供应系统或庞大煤气发生炉的束缚。

在奥托完善了发动机的本体之后, 如何克服这三大缺点便成为主要矛盾了。19 世纪末叶, 石油工业蓬勃发展起来, 比煤气热值高一倍以上的汽油和柴油等产品日渐惹人注目, 这样就逐渐把汽油机和柴油机推上了历史大舞台。汽油的挥发性强, 易于配成混合气, 首先冲在前头。从 19 世纪 30 年代就不断有人进行摸索, 葛·戴姆勒 (Gottfried Daimler) 于 1883 年终于集汽油机之大成制成了第一台现代四冲程往复式活塞式汽油机。它的显著特点还在于首创立式发动机, 另一个特点便是高速。当时所有内燃机转速没有超过 200r/min 的, 而戴姆勒汽油机的转速一跃而为 800 ~ 1000r/min。从此, 内燃机犹如猛虎添翼, 功率大、重量轻、体积小、效率高, 特别适用于交通运输。1892 年德国人鲁道夫·狄赛尔 (Rudolf Diesel) 提出以煤粉为燃料的压燃式发动机的设计。五年后, 即 1897 年, 他终于研制成功完全靠压缩着火的, 采用液体燃料的柴油机。到此, 往复式内燃机的发明已经全部完成了。随着逐步投入批量生

产,其应用也逐渐广泛,几乎渗透到人类生活的各个领域。从而由发明初期的特种发动机变成了常规发动机。对这种常规发动机,不同年代里的发明家们也搞出了很多专利发明对它进行不断改进,从而逐渐把它提高到目前这样的水平。

1.3 创造未来

往复活塞式内燃机的发明,从燃用松节油的 1794 年算起,到 1897 年发明柴油机为止,走过了漫长而艰苦奋斗的历程才告完成。这个历程告诉我们:

(1) 一项伟大的发明创造决不是靠某个先知先觉的“天才”一时灵感产生的,而是社会生产力发展的必然产物,是人类集体智慧的成果。在创制近代内燃机的一个世纪中,各种动力机方案何止千千万万,仅以留下记载的几百名发明人而言,就涉及欧美所有主要国家,深入社会各个阶层,有著名科学家,也有无名小人物;有小业主,也有工程师、技师和普通工人。他们的每一个发明都是在前人一系列局部革新之后产生的。不同年代的人们前赴后继,不断添砖加瓦,最后建成内燃机的高楼大厦。著名的兰诺发动机和奥托发动机的成功就是最令人信服的证明。兰诺和奥托本人都没有提出什么新的原理和结构,他们只是把前人累积起来的成果有效地综合起来,并通过长期的反复的科学实验才攀上技术高峰的。

(2) 新陈代谢是宇宙间普遍的永远不可抵抗的规律。在蒸汽机极盛时代,各种新颖的动力机方案的探索就已经开始了。外燃机方面,有热气机等;内燃机方面,有燃气轮机、转子机等;就以往复式内燃机而言,有过三冲程、六冲程等机种。但是新出现的产品不一定是新生事物,只有在本质上合理的、先进的产品才是真正的新生事物。四冲程和二冲程内燃机在热力学和机械力学上都有无可争辩的合理性,蒸汽机无论怎样强化也不能代替内燃机,这不仅是燃料能源问题,还在于燃料能源的利用形式。内燃机的燃料在气缸内直接燃烧,从而减少了热能的中间损失,大大提高了热效率。内燃机这一本质上的先进性决定了它必然挫败蒸汽机。但

是,本质上合理的、先进的东西,只有在适宜的条件下才能得到完美的表现。17世纪,内燃机的最初尝试失败了,导致蒸汽机的兴起,而到了19世纪,往复式内燃机才具备最佳的生长条件。除了能源条件外,正是蒸汽机为它准备了最充分的基础。首先,蒸汽机一个世纪的发展促进了冶金等工业,以及各种工艺的发展,为内燃机的诞生打下了必要的物质基础。此外,在蒸汽机实践基础上发展起来的热力学为内燃机准备了理论基础,而且也正是蒸汽机不断改进完善的活塞、活塞环、轴承、气门,以及曲柄连杆机构等等组成了内燃机的结构基础。由此可见,在当时只有往复式内燃机具有最佳的技术继承性。这就无怪乎初期的内燃机与蒸汽机十分相似,直到现在,在许多方面还能看到蒸汽机的影子。蒸汽机培育了内燃机又被它代替,内燃机继承了蒸汽机又突破了它,这就是技术代谢的辩证法。

蒸汽机从初创到完成花去一个世纪的时间,从完成到极盛又走了一个世纪,从极盛到衰微大约也是一个世纪。如今内燃机的发明也经历了一个世纪的历程,从那时起,人类又前进了一个世纪,内燃机可以说已达到了极盛时代。由于能源紧张、环境污染和生态平衡等一系列问题,人类在许久以前就已经开始探索新型动力机了。

(3) 在形形色色的“特种发动机”中,是否有几种会成为“常规发动机”呢?本书旨在继集千奇百怪的特种发动机结构方案之大成的《特种发动机》一书之后,较深入地介绍它们的原理与结构,推进新型动力机的开发,使发明家们少走弯路,争取早日成功。然而,一个新的机型,从提出设想到走向成熟需要漫长的时间。时间不等人,摆在我们面前的任务是如何组织有限的科技力量和资金,有选择地投入到“特种发动机”这个课题中去。

历史的经验值得注意,往复式内燃机的发明史或许可以给我们一些有益的启示。看来,未来有前途的新型动力机必须尽可能多地满足下列条件:

(1) 尽可能多地应用现有的或新发现的能源,即采用适应性