

汽车实用技术



汽油发动机构造 与原理

闫光辉 高鲜萍 编



科学出版社

www.sciencep.com

汽车实用技术

汽油发动机构造与原理

闫光辉 高鲜萍 编

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书全面、系统地阐述了车用汽油发动机的构造、工作原理及当前的新技术。全书共12章,具体内容包括汽油发动机概述,汽油发动机工作原理及其构造,曲柄连杆机构,配气机构,化油器式燃油系统,电控汽油喷射系统,进、排气系统及排放净化技术,冷却系统,润滑系统,点火系统,起动系统,汽油发动机新技术简介。

在编写体例上,每章章尾配有思考题,适合工科院校汽车工程专业选作教材。在编写内容上,知识全面、图文并茂,便于读者自学,也可作为汽车工程技术人员参考书。

图书在版编目(CIP)数据

汽油发动机构造与原理/闫光辉,高鲜萍编. —北京:科学出版社,2009.9
(汽车实用技术)

ISBN 978-7-03-025175-6

I. 汽… II. ①闫…②高… III. ①汽车-汽油机-构造 ②汽车-汽油机-理论
IV. U464.171

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 137571 号

责任编辑:喻永光 杨 凯 / 责任制作:董立颖 魏 谨

责任印制:赵德静 / 封面设计:李 力

科 学 出 版 社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京天时彩色印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2009年9月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2009年9月第一次印刷 印张:21 1/2

印数:1—5 000 字数:400 000

定 价:39.80 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

汽车实用技术丛书编委会

主 委	编	张 蕾			
	员	董恩国	黄 玮	童敏勇	高婷婷
		高鲜萍	张玉书	邢艳云	刘晓峰
		闫光辉	陈 越		

前 言

本书以国产汽油发动机为主线,通过大量的立体图、实物图、示意图等,深入浅出地介绍了汽油发动机各个系统、零部件的构造和工作原理;结合现代汽油发动机技术的最新发展,增加了稀薄燃烧技术、缸内直喷技术和可变配气技术等新知识,使读者能够了解现代汽车上所采用的新技术,以便于扩展自己的知识面。

编写过程中,编者力求“实”、“特”、“新”。“实”是指书中的内容真实、实用;“特”是指专业特色明显;“新”是指新内容,与目前已实用化的新结构、新技术尽量相适应。

全书共 12 章,具体内容包括汽油发动机概述,汽油发动机工作原理及其构造,曲柄连杆机构,配气机构,化油器式燃油系统,电控汽油喷射系统,进、排气系统及排放净化技术,冷却系统,润滑系统,点火系统,起动系统,汽油发动机新技术简介。本书由天津工程师范学院闫光辉、高鲜萍、张蕾,深圳职业技术学院高谋荣,南京农业大学工学院李建,福州大学王金妹共同编写,由闫光辉(负责 3,5,6,8,10,12 章统稿工作)、高鲜萍(负责 1,2,4,7,9,11 章统稿工作)担任主编。

天津工程师范学院关志伟副教授、张蕾副教授,长安大学胡大伟教授、王生昌教授,北京理工大学赵福堂教授细心审阅本书并提出了许多宝贵意见,编写工作还得到了厦门金龙客车股份有限公司王艳力、杭州禹鑫汽车实业有限公司总经理范猛熊的具体帮助和指导。在此,对他们深表感谢。

由于编者水平有限,如有错误和欠妥之处,希望广大读者批评指正。

目 录

第 1 章 汽油发动机概述	1
1.1 汽油发动机的历史	1
1.2 汽油发动机需要具有的功能	3
1.3 汽油发动机的类型	4
1.4 汽油发动机的性能指标	5
1.4.1 动力性指标	5
1.4.2 经济性指标	6
1.4.3 强化指标	6
1.4.4 紧凑性指标	6
1.4.5 运转性能指标	7
1.4.6 可靠性与耐久性指标	7
1.5 汽油发动机的编号规则	8
思考题	9
第 2 章 汽油发动机工作原理及其构造	11
2.1 往复式活塞式汽油发动机的工作原理	11
2.1.1 基本结构及常用术语	12
2.1.2 4 冲程汽油发动机的工作原理	16
2.1.3 2 冲程汽油发动机的工作原理	19
2.1.4 2 冲程与 4 冲程汽油发动机的比较	21
2.2 往复式活塞式汽油发动机的总体构造	21
2.3 转子汽油发动机的总体构造及工作原理	23
2.4 往复式活塞式及转子发动机的特点	30
思考题	31
第 3 章 曲柄连杆机构	33
3.1 曲柄连杆机构概述	33
3.2 机体组	35
3.2.1 机 体	36
3.2.2 气缸盖及气缸盖罩盖	42
3.2.3 气缸垫	48
3.2.4 油底壳	49

3.2.5 发动机的支承	50
3.3 活塞连杆组	51
3.3.1 活 塞	51
3.3.2 活塞环	57
3.3.3 活塞销	62
3.3.4 连杆组	63
3.4 曲轴飞轮组	69
3.4.1 曲轴的功能及构造	69
3.4.2 曲轴前、后端密封及曲轴前端驱动	78
3.4.3 曲轴扭转减振器	79
3.4.4 飞 轮	82
3.4.5 发动机的滑动轴承	83
3.5 发动机平衡机构	88
思考题	89
第4章 配气机构	91
4.1 概 述	91
4.1.1 配气机构的功能	91
4.1.2 配气机构的组成	91
4.1.3 配气机构的类型	92
4.2 气门组	98
4.2.1 气 门	98
4.2.2 气门座与气门座圈	102
4.2.3 气门导管及气门弹簧	103
4.2.4 气门旋转机构	104
4.3 气门传动组	105
4.3.1 凸轮轴	105
4.3.2 挺 柱	110
4.3.3 推 杆	111
4.3.4 摇 臂	111
4.3.5 摇臂与气门间隙自动补偿器	112
4.4 配气定时	113
4.4.1 进气门的配气相位	113
4.4.2 排气门的配气相位	114
4.4.3 气门的叠开	114
4.4.4 进、排气门的实际开闭时刻和延续时间	114
4.5 气门间隙	115
思考题	116

第 5 章 化油器式燃油系统	117
5.1 汽油的性能及使用要求	118
5.2 可燃混合气的形成过程	120
5.3 可燃混合气的成分	122
5.4 汽油发动机对混合气成分的要求	124
5.5 化油器的基本结构及附加装置	126
5.5.1 浮子系统	127
5.5.2 起动系统	128
5.5.3 怠速系统	129
5.5.4 主供油系统	131
5.5.5 主供油系统与怠速系统的相互影响	132
5.5.6 加浓系统	133
5.5.7 加速系统	136
5.5.8 化油器的附加装置	137
5.6 燃油系统的辅助装置	140
5.6.1 汽油箱	140
5.6.2 汽油泵	141
5.6.3 汽油滤清器	145
思考题	146
第 6 章 电控汽油喷射系统	147
6.1 概 述	147
6.1.1 电控汽油喷射系统的优点	147
6.1.2 汽油喷射系统的分类	148
6.1.3 电子控制汽油喷射系统的组成	151
6.2 燃油供给系统	151
6.2.1 电动汽油泵(electric fuel pump)	151
6.2.2 燃油分配管(fuel distribution tube)	153
6.2.3 油压调节器(fuel pressure regulator)	153
6.2.4 油压脉动缓冲器(fuel pressure impulse buffer)	154
6.2.5 喷油器(injector)	155
6.2.6 冷起动喷嘴及热时间开关(starting nozzle and preheater time switch)	157
6.3 空气供给系统	158
6.3.1 空气流量计(air flow meter)	158
6.3.2 进气管压力传感器(MAP:Manifold Absolute Pressure)	162
6.3.3 怠速控制阀(idle control valve)	163
6.3.4 补充空气阀(auxiliary air-valve)	164
6.4 电子控制系统	166
6.4.1 电控单元(ECU)	166

6.4.2 传感器(sensor)	167
6.5 电控汽油喷射系统的基本类型	175
6.5.1 博世 D 型汽油喷射系统	175
6.5.2 博世 L 型汽油喷射系统	177
6.5.3 博世 LH 型汽油喷射系统	178
6.5.4 博世 M 型汽油喷射系统	179
6.5.5 节气门体汽油喷射系统	180
思考题	181
第 7 章 进、排气系统及排放净化技术	183
7.1 进、排气系统	183
7.1.1 空气滤清器	184
7.1.2 进、排气歧管	186
7.1.3 排气消声器	188
7.2 排放污染物	189
7.3 机内净化技术	190
7.3.1 采用电控汽油喷射系统	191
7.3.2 推迟点火提前角	191
7.3.3 排气再循环(EGR)系统	192
7.3.4 燃烧系统优化设计	194
7.3.5 层状充气发动机	196
7.4 机外净化技术	196
7.4.1 催化转换装置	196
7.4.2 降低低温 HC 排放装置	198
7.4.3 NO _x 吸附还原型催化转化装置	200
7.4.4 其他控制措施	200
思考题	202
第 8 章 冷却系统	203
8.1 概 述	203
8.1.1 冷却系统的功能	203
8.1.2 冷却系统的分类	204
8.2 水冷系统	204
8.2.1 水冷系统的组成	204
8.2.2 冷却液(cooling liquid)	205
8.2.3 水泵(water pump)	206
8.2.4 散热器(radiator)	208
8.2.5 冷却强度调节装置	212
8.3 风冷系统	218
8.3.1 风冷发动机的特点	218
8.3.2 冷却系统的布置	219

8.3.3 冷却强度的调节	220
8.3.4 冷却风扇的传动	220
思考题	221
第9章 润滑系统	223
9.1 概 述	223
9.1.1 润滑系统的作用	223
9.1.2 润滑方式	224
9.1.3 润滑系统的组成	224
9.1.4 润滑油路	226
9.2 润滑剂	228
9.2.1 润滑油的性能	228
9.2.2 润滑油的分类	230
9.2.3 合成润滑油	230
9.2.4 润滑脂	230
9.3 机油泵	231
9.3.1 转子式机油泵	231
9.3.2 齿轮式机油泵	232
9.3.3 内接齿轮式机油泵	232
9.4 机油滤清器	233
9.5 机油冷却器	236
9.6 阀门及油尺	237
思考题	237
第10章 点火系统	239
10.1 概 述	239
10.1.1 点火系统的功能	239
10.1.2 点火系统的基本要求	239
10.1.3 点火系统的类型	241
10.1.4 点火系统的特点	242
10.2 传统点火系统	243
10.2.1 传统点火系统的组成	243
10.2.2 断电器(breaker)	246
10.2.3 电容器	247
10.2.4 配电器	248
10.2.5 点火提前调节装置	249
10.2.6 火花塞	254
10.2.7 点火线圈	256
10.3 电子点火系统	258
10.3.1 传统点火系统的缺点与电子点火系统的优点	258
10.3.2 有触点电子点火系统	259

10.3.3 无触点电子点火系统	260
10.4 微机控制点火系统	270
10.4.1 概 述	270
10.4.2 有分电器微机控制点火系统	271
10.4.3 无分电器微机控制点火系统	277
10.5 汽车电源	284
10.5.1 蓄 电 池	285
10.5.2 发 电 机	287
10.5.3 电压调节器	290
思考题	294
第 11 章 起动系统	295
11.1 概 述	295
11.2 低温起动预热装置	296
11.3 起动机的组成及工作原理	299
11.3.1 直流电动机	299
11.3.2 起动机的传动机构	302
11.3.3 起动机的控制机构	305
11.4 起动机的种类及型号	307
11.5 减速起动机	309
11.6 永磁减速起动机	312
思考题	312
第 12 章 汽油发动机新技术简介	313
12.1 稀薄燃烧技术	313
12.2 缸内直喷技术	316
12.2.1 缸内直喷发动机的结构特点	316
12.2.2 GDI 的工作原理	319
12.2.3 GDI 发动机的特性	319
12.3 可变配气技术	320
12.3.1 可变气门升程技术	321
12.3.2 可变配气正时技术	322
12.3.3 VTEC 技术	323
12.3.4 可变进气管技术	325
12.3.5 可变进气歧管截面积技术	326
思考题	327
参考文献	329

第 1 章

汽油发动机概述

1.1 汽油发动机的历史

内燃机以热效率高、结构紧凑、机动性强、运行维护简便等优点著称于世。目前世界上内燃机的拥有量大大超过了任何其他的热力发动机,占有相当重要的地位。

内燃机发展至今,约有一个半世纪的历史了。同其他科学一样,内燃机的每一个进步都是人类生产实践经验的概括和总结。内燃机的发明始于对活塞式蒸汽机的研究和改进。在内燃机的发展史中应当特别提到的是德国人奥托和狄塞尔,正是他们在总结前人无数实践经验的基础上,对内燃机的工作循环提出了较为完善的奥托循环和狄塞尔循环,从而使到他们为止几十年间无数人的实践和创造活动得到了一个科学的总结,并实现了质的飞跃。他们将前人粗浅的、纯经验的、零乱无序的经验,加以继承、发展、总结、提高,并找出了规律性,为现代汽油发动机和柴油发动机热力循环奠定了基础,为内燃机的发展做出了伟大的贡献。

1876 年,德国人尼考罗斯·奥古斯特·奥托(图 1.1)制成了第 1 台 4 冲程往复活塞式内燃机(单缸,卧式,以煤气为燃料,功率大约为 2.21kW,180rpm)。与其他发动机相比,奥托在该发动机上增加了飞轮,有效改善了发动机运转的平稳性,增加了进气道,改进了气缸盖,从而使混合气能迅速、有效地形成。此台经过改善的发动机非常成功,其热效率相当于当时蒸汽机的 2 倍。奥托把 3 个关键的技术——内燃、压缩燃气、4 冲程融为一体,使这种内燃机具有效率高、体积小、质量轻和功率大等一



图 1.1 尼考罗斯·奥古斯特·奥托

系列优点。在1878年巴黎万国博览会上,被誉为“瓦特以来动力机方面最大的成就”。等容燃烧四冲程循环由奥托实现,也被称为奥托循环。

在前人的研究基础上,1883年,戴姆勒和迈巴赫制成了第1台4冲程往复式汽油发动机,此发动机上安装了迈巴赫设计的化油器,还用白炽灯管解决了点火问题。以前,内燃机的转速都不超过200rpm,而戴姆勒的汽油发动机转速一跃为800~1000rpm。它的特点是功率大、质量轻、体积小、转速快和效率高,特别适用于交通工具。与此同时,本茨研制成功了现在仍在使用的点火装置和水冷式冷却器。

到19世纪末,活塞式汽油发动机大体上进入了实用阶段,在广泛应用中不断得到改善和革新,并且很快显示出了巨大的生命力。

伴随着内燃机技术的发展,同时在汽车和飞机工业的推动下,20世纪汽油发动机取得了长足发展。按汽油发动机的功率、热效率、比功率和降低油耗等主要性能指标提高的过程,可以把20世纪汽油发动机的发展分为4个阶段。

第1阶段为20世纪最初20年,为适应交通运输的要求,汽油发动机技术以提高功率和比功率为主,采取的主要技术措施是提高转速、增加缸数和改进相应辅助装置。此阶段,汽油发动机的转速从上世纪的500~800rpm提高到了1000~1500rpm,比功率从3.68W/kg提高到了441.3~735.5W/kg,对提高汽车的负载能力具有重大的意义。

第2阶段为20世纪20年代,主要解决的是汽油发动机的爆震燃烧问题。当时,汽油发动机的压缩比达到4时,就发生爆震。美国通用汽车公司研究室的米格雷和鲍义德通过在汽油中加入少量的四乙基铝,干扰氧和汽油分子化合的正常过程,解决了爆震的问题,使压缩比从4提高到了8,大大提高了汽油发动机的功率和热效率。当时,燃烧室的形状和结构也严重影响汽油发动机的功率和热效率,英国的里卡多及其合作者通过对多种燃烧室及燃烧原理的研究,改进了燃烧室,使汽油发动机的功率提高了20%。

第3阶段是从20世纪20年代后期到40年代早期,汽油发动机上装备了增压器。废气涡轮增压压可使气压增至1.4~1.6倍大气压,此项应用为提高汽油发动机的功率和热效率开辟了一个新的途径。但是,其真正普及是在50年代后期。

第4阶段是从20世纪50年代至今,汽油发动机技术在原理重大变革之前发展已近极致。它的结构越来越紧凑,转速越来越高。主要技术有:缸内喷射技术,多气门技术,进气滚流、稀薄分层燃烧,电子控制点火正时、汽油喷射及空燃比随工况精确控制等全面电子发动机管理,废气再循环及三元催化等排气净化技术等,集中体现在近年来研制成功并投产的缸内直喷分层充气稀燃汽油发动机(GDI)上。

在过去1个世纪里制造出的数以亿万计的汽车中大多数使用4冲程汽油发动机,而2冲程汽油发动机在汽车上则使用很少。2冲程发动机是英国的克拉克

(Dugald Clark)于1879年设计的,且在1881年研制出了气体发动机。其后,经过多次改良,性能逐步提高的2冲程发动机没有气门机构,结构简单、质量轻,并且价格较低,所以主要被使用在轻型汽车和两轮车中。由于很难降低排出气体中的有害物质,且具有燃料消耗率较高等缺点,现在除了两轮车以外已经不使用2冲程发动机了。

目前,在商品汽车上普遍使用往复式活塞式汽油发动机。此外,还有一种知名度很高,但应用很少的发动机,这就是三角活塞旋转式发动机,又称为转子发动机、米勒循环发动机(Miller Cycle Engine)。它采用三角转子旋转运动来控制压缩和排放,与传统的活塞往复式发动机的直线运动迥然不同。这种发动机由德国人菲力斯·汪克尔(Felix Wankel, 1902—1988)(图1.2)发明,在总结前人的研究成果的基础上,解决了一些关键技术问题,于1957年设计,1959年研制成功。当时业内人士认为这种发动机的结构紧凑轻巧,运转安静畅顺,也许会取代传统的活塞式发动机。

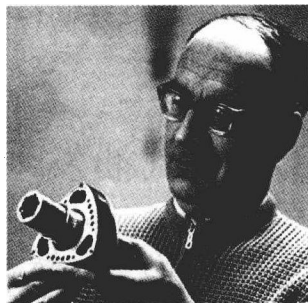


图1.2 菲力斯·汪克尔

1964年,日内瓦的德法合资企业COMOBIL公司,首次把转子发动机装在轿车上成为正式产品。1967年,日本也将转子发动机装在马自达轿车上开始成批生产。当时,由于这是一项高新技术,懂得这项技术的人寥寥无几,发动机维修困难,而且耗油大,汽车界有人对这种发动机的市场前景产生了怀疑。70年代,石油危机爆发,各国忙于应付各方面的困难而无暇顾及发展转子发动机,但也有个别汽车企业深信转子发动机的潜力,一直专心研究并使用至今。

1.2 汽油发动机需要具有的功能

汽车用汽油发动机所需要具有的功能如下。

(1) 小型、轻量、高性能。从汽车的使用角度来考虑,汽油发动机要具有使用方便、低燃料消耗率和节省资源等特点,因此发动机需要小型和轻量化;而为满足人们舒适性等要求,需要体现出优越的性能。

为了实现高性能,发动机中采用了增压装置、多气门机构、DOHC(顶置双凸轮轴)机构、燃料喷射装置、可变进气装置、可变气门正时机构及电子控制技术。

为了实现小型和轻量化,大量使用铝和树脂等轻型材料,也曾尝试使用复合材料、陶瓷等新型材料,但是在实际应用中因成本高、可靠性较差而受到了限制。

(2) 低燃料消耗率。汽油是不可再生资源,为缓解能源危机,需要提高汽油发动机的经济性,降低燃料消耗率。一方面提高汽油发动机轻量化和热效率,采用增

压装置、多气门机构等实现;另一方面改善燃烧压缩比,采用稀薄燃烧等先进技术来降低燃料消耗率。

(3) 高耐久性和高可靠性。

(4) 低振动、低噪声。为了提高汽车的舒适性,发动机要求振动小、噪声低。

(5) 高安全性、低公害。随着汽车的普及,交通事故、环境污染及地球大气的温暖化等危及人类生存的问题日益严重。为了减轻上述问题,汽油发动机要求高安全性、低公害。

1.3 汽油发动机的类型

汽油发动机是将汽油与空气在发动机内部混合、通过电火花点燃后,将热能转变为机械能的一种内燃机。汽油发动机按不同方法可分为多种类型。

(1) 根据活塞运动方式的不同,汽油发动机可分为往复式活塞发动机和旋转式的转子发动机。往复式活塞发动机的转子在气缸内作往复直线运动,将混合气体燃烧得到的热量转化成机械式活塞的往复运动,分为2冲程发动机和4冲程发动机;转子发动机的转子在气缸内作旋转运动,根据转子个数来进行分类,一般使用的是2转子或者3转子。

(2) 根据燃料的供给方式不同,汽油发动机可分为化油器发动机和汽油喷射发动机。化油器发动机通过化油器(汽化器)预先将空气和汽油混合,供给到气缸内。汽油喷射发动机则采用燃料喷射装置将汽油以喷射方式供给,供给方式分为向进气管内喷射的进气管喷射方式和向气缸内直接喷射的缸内喷射方式。目前,为达到严格的排放标准和高速、高输出的要求,电子控制式汽油喷射发动机已经开始普及。

(3) 根据冷却方式的不同,活塞式汽油发动机分为水冷式和风冷式。以水或冷却液为冷却介质的称作水冷式汽油发动机;风冷式汽油发动机则将外界空气吸入到气缸和缸盖中预设的冷却散热片中,直接冷却发动机,其冷却方式分为自然冷却和使用冷却风扇的强制冷却。

(4) 往复式活塞汽油发动机根据气缸数的不同,分为单缸和多缸式。1个气缸的发动机称为单缸(单气缸)发动机,2个气缸以上的称为多缸(多气缸)发动机。多缸发动机中有2,3,4,5,6,8,10,12气缸等,按排列方式分为直列型、V型、水平对置型等。发动机多缸化会使转动变得更加平滑,能够降低振动、噪声,而随着组装零件个数的增多,制作和使用也变得复杂。从多气缸发动机的气缸数和总排气量的关系来看,1L以下的汽车中使用的是2~4气缸,1~3L的汽车中使用的是4~6气缸,3L以上的汽车中则多使用8气缸,也有极少数汽车使用12气缸发动机。

(5) 4冲程汽油发动机根据配气机构的不同,可划分为SV型(side valve,侧置气门)、OHC型(overhead camshaft,顶置凸轮轴型)和OHV型(overhead valve,顶置气门

型)等,详见 4.1 节相关内容。

除此之外,还可以根据某些结构特征对汽油发动机进行分类,此处不再一一赘述。

1.4 汽油发动机的性能指标

1.4.1 动力性指标

动力性指标表征汽油发动机做功能力大小,一般用有效转矩、有效功率、转速和平均有效压力等作为评价依据。

1. 有效转矩

汽油发动机对外输出的转矩称为有效转矩,记作 T_e ,单位为 $\text{N} \cdot \text{m}$ 。有效转矩与曲轴角位移的乘积即汽油发动机对外输出的有效功。

2. 有效功率

汽油发动机在单位时间对外输出的有效功称为有效功率,记作 p_e ,单位为 kW ,等于有效转矩与曲轴角速度的乘积。汽油发动机的有效功率可以用台架试验方法测定,也可用测功器测定有效转矩和曲轴角速度,然后用公式计算:

$$p_e = T_e \frac{2\pi n}{60} \times 10^{-3} = \frac{T_e n}{9550} (\text{kW})$$

式中, T_e ——有效转矩($\text{N} \cdot \text{m}$);

n ——曲轴转速(rpm)。

3. 转 速

汽油发动机曲轴每分钟的回转数称为转速,用 n 表示,单位为 rpm 。汽油发动机转速的高低,关系到单位时间内做功次数的多少、汽油发动机有效功率的大小,即汽油发动机的有效功率随转速的不同而改变。因此,在说明汽油发动机有效功率的大小时,必须同时指明其相应的转速。汽油发动机产品标牌上规定的有效功率及其相应的转速分别称作标定功率和标定转速。汽油发动机在标定功率和标定转速下的工作状况称作标定工况。标定功率不是汽油发动机的最大功率,它是根据汽油发动机用途而制定的有效功率最大使用限度。同一种型号的汽油发动机,当其用途不同时,其标定功率值并不相同。有效转矩也随汽油发动机的工况而变化。因此,汽油发动机以其所能输出的最大转矩及其相应的转速作为评价汽油发动机动力性的一个指标。

4. 平均有效压力

单位气缸工作容积所做的有效功称为平均有效压力,记作 p_{me} ,单位为 MPa 。显然,平均有效压力越大,汽油发动机的做功能力越强。

1.4.2 经济性指标

汽油发动机经济性指标包括有效热效率和有效燃油消耗率等。

1. 有效热效率

燃料燃烧所产生的热量转化为有效功的百分数称为有效热效率,记作 η_e 。显然,为获得一定数量的有效功所消耗的热量越少,有效热效率越高,汽油发动机的经济性越好。

2. 有效燃油消耗率

汽油发动机每输出 1kW 有效功所消耗的燃油量称为有效燃油消耗率,记作 g_e ,单位为 $\text{g}/(\text{kW} \cdot \text{h})$ 。

$$g_e = \frac{B}{P_e} \times 10^3$$

式中, B ——汽油发动机在单位时间内的耗油量(kg/h);

P_e ——汽油发动机的有效功率(kW)。

显然,有效燃油消耗率越低,经济性越好。

1.4.3 强化指标

强化指标是汽油发动机承受热负荷和机械负荷能力的评价指标,一般包括升功率和强化系数等。

1. 升功率

汽油发动机在标定工况下,单位排量输出的有效功率称为升功率。升功率越大,表明每升气缸工作容积的有效功率越大,汽油发动机的热负荷和机械负荷也就越高。

2. 强化系数

平均有效压力与活塞平均速度的乘积称为强化系数。活塞平均速度是指汽油发动机在标定转速下工作时,活塞往复运动速度的平均值。

1.4.4 紧凑性指标

紧凑性指标用来表征汽油发动机总体结构紧凑程度,通常用比容积和比质量衡量。比容积和比质量越小,汽油发动机结构越紧凑。

1. 比容积

汽油发动机外廓体积与其标定功率的比值称为比容积。

2. 比质量

汽油发动机的干质量与其标定功率的比值称为比质量。干质量是指未加注燃油、机油和冷却液的汽油发动机质量。