

教育部职业技术教育中心研究所
精选德国职业教育系列教材

汽车技术专业教程

〔德〕 维尔弗里德·施陶特

屈求真 胡 宁 译



北京大学出版社



教育部职业技术教育中心研究所
精选德国职业教育系列教材

汽车技术专业教程

[德]维尔弗里德·施陶特 著

屈求真 胡 宁 译

本书提供各种插图超过 1300 幅

北京大学出版社

·北 京·

Wilfried Staudt

KRAFTFAHRZEUG TECHNIK Technologie

Grund-und Fachbildung für Kraftfahrzeug-
und Automobilmechaniker

Unter Mitarbeit von Dieter Moos und
Berthold Heinrich

Alle Rechte vorbehalten

© Friedr. Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft mbH, Braunschweig/Wiesbaden, 1995

Der Verlag Vieweg ist ein Unternehmen der Bertelsmann Fachinformation GmbH.

著作权合同登记 图字：01—1998—2168

图书在版编目(CIP)数据

汽车技术专业教程/[德]施陶特(Stauat, W.)主编;屈求真,胡宁译,一北京:北京大学出版社,1999.5

ISBN 7-301-03995-6

I. 汽… II. ①施… ②屈… ③胡… III. 汽车工程—教材 IV. U46

中国版本图书馆 CIP 数据核字(98)第 36393 号

书 名: 汽车技术专业教程

著作责任者: [德]维尔弗里德·施陶特著 屈求真 胡宁 译

责任编辑: 瞿 定

标准书号: ISBN 7-301-03995-6/U·0001

出版者: 北京大学出版社

地 址: 北京市海淀区中关村北京大学校内 100871

电 话: 出版部 62752015 发行部 62559712 编辑部 627552021

排版者: 北京华伦公司排版部 62756343

印刷者: 北京大学印刷厂

发 行 者: 北京大学出版社

经 销 者: 新华书店

787×1092 毫米 16 开本 22.75 印张 550 千字

1999 年 5 月第一版 1999 年 5 月第一次印刷

定 价: 54.00 元

《德国职业教育教材系列丛书》编辑委员会

顾问：刘来泉 彭松建 余祖光 张文定

编委：黄 尧 姜大源 崔红珊 白汉刚

王明舟 潘欧嘉 邱淑清 王 原

《德国职业教育教材系列丛书》序言

“双元制”职业教育是当前世界上最成功的职业教育模式之一,被德国誉为战后经济腾飞的秘密武器,受到了世界各国的普遍重视。

所谓“双元制”职业教育,简言之,就是将在企业里进行的实际技能的培训与在职业学校里进行的专业理论知识的培训以及普通文化知识的传授紧密结合培养职业人才的一种职业教育制度。

“双元制”职业教育在教学组织方面最显著的特征是,企业教学与职业学校教学的密切配合,强调企业教学的主体性;实践教学与理论教学的相互协调,强调实践教学的主导性。

“双元制”职业教育在教学过程方面最显著的特征是,职业分析与课程开发的紧密联系,强调专业内容适应职业需求的针对性;能力教育与技能培训同步进步,强调能力本位的素质培养的重要性。

在这一总体思想的指导下,“双元制”职业教育的教材,作为进一步提高教学效果的工具,在编写中始终遵循“贴近职业实践,符合教学计划,有利学生学习”的原则。

贴近职业实践,指的是在内容上要注重职业的实际要求和生产过程,将专业知识与独立制订、实施和评估计划的培养目标紧密结合,注重培养学生严谨、稳妥和合理的工作态度,注重树立学生的能源意识、安全意识、环保意识、质量意识等现代生产意识,注重现实职业实践中适用的技术标准。

符合教学计划,指的是在结构上要能及时根据最新颁布的教学计划改编或重新编写教材,将职业基础培训和职业培训的通用要求编为基础教程,将职业专长培训的特殊要求编为专业教程,随时有意识地从教学论的角度插

入有利于训练学生学习新方法、掌握新规律、解决新问题的迁移能力的内容,既要适合课堂教学,也要便于自学。

有利学生学习,指的是形式上要多样化,要适合青少年的心理特点,文字和插图要相互配合,综合运用表格、曲线、图片、色彩来表达重要的概念、定律、规则、原理、规范、使大脑逻辑思维活动的拓展与色彩视觉的刺激相辅相成,从逻辑思维和形象思维两方面来提高学生的学习能力,挖掘学生的学习潜力,从而调动学生的学习积极性。

教材在知识涵盖的广度上,把传统教材中的多门学科有机地综合在一起;在知识的实际应用方面,注重围绕职业活动对内容加以取舍,应用分析篇幅详尽,纯理论表达则很简洁;在教材结构上,按照由简单到复杂、由现象到本质、由特殊到一般的规律,层层递进,螺旋上升。所有涉及入门知识的章节都以生活或职业实践中常见的现象或事例开头,以激发学生的学习兴趣;所有涉及深化知识的章节则尽力避免深奥难懂的枯燥论述,而是注意引导、注重启发、强调实用,充分调动学生个人的主动性、积极性、创造性。定性的叙述、定量的分析、生动的实例、形象的图标和精选的例题,一环扣一环。行文流畅,再配以精致的插图,并有意识地选择不同的色彩表示教材的重点或难点,使人耳目一新。

80年代初开始,我国在职业教育领域与德国进行了一系列卓有成效的合作。现在建成了32个中德合作项目,确定了苏州、无锡、常州、荆沙、芜湖、沈阳6个“双元制”职业教育改革试点城市,在100多个单位推广了“双元制”经验,派出了上万名职教教师和管理人

赴德国进修学习。1994年7月,中德两国政府发表了《关于加强职业教育领域合作的联合声明》。同年9月,成立了中德职业教育工作小组,发布了《中德职业教育倡议行动联合公报》。这标志着中德两国职业教育合作走向了一个新的阶段。为更加深入地学习和借鉴“双元制”职业教育的经验,促进我国职业教育领域里的教学改革,满足各级各类职业学校师生、职业教育研究和管理部门的需要,

国家教委职业技术教育中心研究所精选的这套德国职业教育系列教材,既可作为各级各类职业学校师生的参考教材,又可作为职业教育研究人员和管理人员的研究资料。希望这套系列教材的出版,能对我国职业教育的教材建设,特别是在教材内容的取舍、教材结构的安排、教材形式的选择等方面,具有较大的借鉴和参考价值。

教育部职业技术教育中心研究所

前言

职业培训的目标在于培养学生的各种行为能力,即专业能力、规划能力、学习能力以及社会合作能力。因此,这就给课堂引导及课堂组织提出了特别的要求,本教程力图帮助教师与学生能够完成上述要求。

我仍对本教程的第二版进行了全面的修订,将原来的基础教程与专业教程合二为一^①。这样便于学生能够从头至尾使用同一本培训教材。本教程的基础部分着重将职业技术基础教育作为目标。在内容的编排上,既结合职业的特点,又不忽视基础教育知识范围的拓宽。本教程考虑到如何去不断提高受训人员对职业培训的兴趣,以便使他们在汽车领域从事

各种技术工作的热情大大提高。

专业部分的内容经修订后更为实际,增加了一些单节;

- 柴油机电子调节;
- 废气回流;
- 表面处理;
- 车身维修;
- 全电子高压分电点火系统。

本教程对前一版的各章节进行了重新编排。取出了思考与练习,工艺编制、汽车测量技术等内容,并将其合并 in 教科书“汽车技术教程工艺篇”中。

为便于复习,本教程增添了共约 600 个问答题。

章节结构	
信息部分	作业部分
问题的提出 每一章均由日常工作中遇到的实际问题入手,通过提出问题,可向学生表明讲述内容的范围,并激发学生解决问题的兴趣。 学生们可根据他们的经验,自由发表自己的观点。收集这些观点,待该章学完后再对其进行评判。 专业知识 这部分与所提出的问题紧密相关,应该能够帮助学生获取问题的解答。专业知识以一定的结构形式进行讲述。丰富的插图、清晰紧凑的内容可促使学生对专业知识的领会掌握,通过结构元件,结构总成以及系统的对照,便于同学的理解和记忆,同时,有助于准确地认识各种特性。 此外,还必须注意插图中包含了大量的信息,应该加以充分利用。 问题的解答 每章的最后都对提出的问题进行了详细的解答。	通过作业部分可使学生具有: ● 独立解决问题的能力(规定能力); ● 独立获得知识的能力(学习能力); ● 合作解决问题的能力(社会能力)。 在每大章的结尾绘出了带配图的工作任务(分析)及复习题。 分析 分析部分包含有学生可以利用的技术资料、图解、数据、工作参数等,学生应将所学的知识运用到新的或类似的结构元件、结构总成或系统之中。该部分明确提出了学生应解答的问题,因此也就给学生们提供了一条结合图示独立解决问题的思路。 复习题 每大章的结尾配有 40 至 60 个问答题,可用于考察学生对所学知识的理解程度。

^① 我们仍分为已出版的《汽车技术基础教程》和《汽车技术专业教程》,本书采用原著新版的内容。——北京大学出版社

标题标志有利于各部分内容的划分和材料的查找。

本教程涉及的知识范围和具体的内容符合文化部大会(KMK)制定的教学大纲的要求,同

时也满足各州所制定的教学大纲。发行人,作者及出版社衷心感谢在图片资料收集过程中给予热情帮助的所有公司。

Wiesbaden, 1995 年 4 月

维尔夫里德·施陶特

目录

发动机

	1 四冲程汽油发动机 2		1.3.5 化油器..... 41
	1.1 四冲程工作原理..... 2		1.3.5.1 基本化油器..... 41
	1.1.1 单缸发动机..... 2		1.3.5.2 下吸式化油器..... 43
	1.1.2 多缸发动机..... 7		1.3.5.3 电子调节化油器..... 47
	1.2 发动机部件..... 8		1.3.6 汽油喷射..... 48
	1.2.1 发动机壳体..... 8		1.3.6.1 概述..... 48
	1.2.1.1 气缸盖..... 9		1.3.6.2 间歇多点喷射..... 50
	1.2.1.2 发动机的密封..... 10		1.3.6.3 间歇式中心喷射..... 58
	1.2.1.3 气缸..... 11		1.3.6.4 连续型多点喷射..... 61
	1.2.1.4 曲轴箱..... 14		1.4 排气装置..... 67
	1.2.2 曲轴传动..... 15		1.4.1 消声装置..... 67
	1.2.2.1 活塞..... 16		1.4.2 废气净化装置..... 69
	1.2.2.2 活塞环..... 21		1.4.2.1 催化的二次燃烧..... 69
	1.2.2.3 活塞销..... 22		1.4.2.2 废气回流..... 72
	1.2.2.4 连杆..... 23		混合气形成系统复习题..... 73
	1.2.2.5 曲轴..... 24		1.5 发动机润滑..... 75
	1.2.2.6 连杆轴承和曲轴轴承..... 25		1.5.1 发动机机油..... 75
	1.2.3 四冲程发动机的配气..... 26		1.5.2 发动机中的摩擦..... 75
	1.2.3.1 发动机配气机构..... 26		1.5.3 润滑系统..... 76
	1.2.3.2 配气相位图..... 27		1.5.3.1 压力循环润滑..... 77
	1.2.3.3 凸轮轴的位置..... 28		1.5.3.2 发动机润滑装置..... 78
	1.2.3.4 发动机配气件..... 29		1.6 发动机冷却..... 80
	1.2.3.5 凸轮轴和凸轮轴驱动装置..... 30		1.6.1 外冷却与内冷却..... 80
	1.2.3.6 气门间隙..... 31		1.6.2 水冷却..... 80
	发动机构造复习题..... 33		1.6.2.1 热循环冷却..... 80
	1.3 汽油发动机混合气形成..... 36		1.6.2.2 泵循环冷却..... 81
	1.3.1 混合比..... 36		1.6.2.3 冷却装置的部件..... 81
	1.3.2 燃料..... 37		1.6.2.4 带闭环的泵循环冷却..... 84
	1.3.3 燃油系统..... 37		1.6.3 空气冷却..... 85
	1.3.3.1 燃油供给系统..... 37		润滑系统、发动机冷却复习题..... 86
	1.3.3.2 燃油回流系统..... 38		2 二冲程发动机 87
	1.3.3.3 燃油蒸发装置..... 39		2.1 二冲程工作过程..... 88
	1.3.4 空气滤清器..... 40		2.2 二冲程发动机的波动系统..... 89

2.3 扫气工作过程	90
2.4 不依赖活塞的进气控制	90
2.5 二冲程发动机部件	91
2.6 四冲程发动机与二冲程发动机的比较	92



3 柴油发动机	93
3.1 柴油发动机工作方式	93
3.2 混合气形成过程	94
3.2.1 直接喷射	94
3.2.2 间接喷射	95
3.2.3 废气净化	95
3.3 柴油机部件	96
3.4 汽油机与柴油机比较	97
3.5 柴油喷射装置	99
3.5.1 燃油输油泵	100
3.5.2 燃油滤清器	100
3.5.3 列式喷油泵	101
3.5.3.1 泵单元体	101
3.5.3.2 调节器	103

3.5.3.3 喷射调整器	105
3.5.4 多燃料发动机的泵	105
3.5.5 带电子调节的列式喷射泵	106
3.5.6 带电子调节的凸轮盘式列式喷油泵	108
3.5.7 分配式喷油泵	109
3.5.7.1 通过分配器柱塞的燃油分配	110
3.5.7.2 分配泵的机械式调节	110
3.5.8 分配式喷射泵的电子柴油调节(EDC)	111
3.5.9 喷油器和喷嘴	113
3.5.10 柴油发动机的废气净化系统	114



4 特种发动机	115
4.1 汪克尔发动机——转子发动机	115
4.2 增压发动机	117
二冲程发动机、柴油发动机、增压发动机复习题	120

传动系统



1 离合器	124
1.1 摩擦式离合器	124
1.1.1 单片干式离合器	124
1.1.1.1 离合器从动盘	126
1.1.1.2 离合器工作间隙	126
1.1.2 变矩器-换挡离合器系统(WSK)	127



2 变速器	128
2.1 变速器的应用使发动机特性适合于汽车行驶工况	128
2.2 变速器工作原理	128
2.2.1 单级齿轮传动	129
2.2.2 双级齿轮传动	129
2.2.3 汽车变速器的基本结构	129
2.3 换挡变速器	130
2.3.1 直齿滑动齿轮变速器	130

2.3.2 接合套换挡变速器	130
2.3.3 同步器变速器	131
2.3.3.1 锁止式同步变速器(ZF-B)	131
2.3.3.2 锁止式同步器(波尔舍)	133



2.4 自动变速器	134
2.4.1 液力变矩器	134
2.4.2 行星齿轮变速器	136
2.4.2.1 单排行星齿轮传动原理	136
2.4.2.2 复合式的行星齿轮变速器	138
2.4.2.3 机械传力部件	139
2.4.3 液压控制装置	140
2.4.4 变速器控制	141
2.4.5 变速器电控	145
2.4.6 无级自动变速器	145



3 传动轴与万向节

- 3.1 万向节传动轴
- 3.2 半轴
 - 3.2.1 球笼式万向节
 - 3.2.2 双联式万向节传动轴



4 驱动桥, 全轮驱动

- 4.1 主减速器

4.2 锥齿轮差速器

4.3 锁止式差速器

- 4.3.1 强制锁止式差速器
- 4.3.2 自锁式差速器

4.4 全轮驱动

- 4.4.1 自动换挡四轮驱动(4MATIC)

传动系统复习题

底盘部件



1 悬架

- 1.1 转弯行驶性能
- 1.2 悬架类型
- 1.3 前轮定位
- 1.4 独立悬架
- 1.5 整体桥



2 车轮与轮胎

- 2.1 车轮
- 2.2 轮胎
 - 2.2.1 滑水现象
 - 2.2.2 轮胎规格
 - 2.2.3 轮胎寿命
 - 2.2.4 不平衡



3 弹簧

- 3.1 基础知识
 - 3.1.1 振动
 - 3.1.2 弹簧刚度曲线
- 3.2 汽车弹簧
 - 3.2.1 钢制弹簧
 - 3.2.2 空气弹簧
 - 3.2.3 油气弹簧



4 阻尼减振

- 4.1 减振器
- 4.2 减振器与其他零部件的组合
 - 4.2.1 麦弗逊式悬架的减振支柱
 - 4.2.2 高度调整式减振器



5 转向

5.1 前桥几何学

5.2 转向节转向

- 5.2.1 转向梯形
- 5.2.2 转向机构减振器
- 5.2.3 转向器

5.3 动力转向

5.4 安全转向

5.5 转向特性

复习题



6 车架与车身

6.1 车架

6.2 车身

6.3 安全汽车

6.4 轿车车身的制造

6.5 表面处理

- 6.5.1 腐蚀
- 6.5.2 防腐
- 6.5.3 轿车车身的涂装

6.6 安装玻璃

6.7 通风与供暖

6.8 冷气

6.9 车身维修

- 6.9.1 法规
- 6.9.2 损伤分析
- 6.9.3 变形修理技术
- 6.9.4 切断与接合修理技术
- 6.9.5 补漆

6.9.6 空腔封闭	227
6.9.7 车身底板防护	227
6.9.8 防止事故的措施	228
复习题	228



7 制动	231
7.1 制动装置的分类	231
7.2 法规	232
7.3 制动过程	234
7.3.1 制动过程中的各阶段	234
7.3.2 车轮上的受力	235
7.3.3 鼓式制动器的自增力	235
7.3.4 轮胎与路面之间的作用力	236
7.4 车轮制动器	237
7.4.1 鼓式制动器	237
7.4.2 盘式制动器	240
7.4.3 驻车制动器	242
7.4.4 鼓式制动器与盘式制动器的比较	243



7.5 液压制动装置	244
7.5.1 液压制动装置的工作原理	244
7.5.2 制动液	245
7.5.3 液压制动装置的零部件	245
7.5.4 液压制动系统中的专用装置	250
7.5.5 制动防抱系统(ABS)	253
7.5.6 驱动防滑转系统(ASR)	255
7.6 气压制动装置	257
7.6.1 压缩空气供给装置	260
7.6.2 行车制动装置	262
7.6.3 驻车制动装置	264
7.6.4 挂车制动装置(附有机械式的驻车制动装置)	266
7.7 辅助制动装置(第三制动)	268
7.7.1 发动机排气制动	268
7.7.2 电磁缓速器(电涡流制动器)	270
7.7.3 液力缓速器(液流制动器, 液力下坡缓行器)	270
复习题	271

电工学, 电子学, 控制及调节技术



1 汽车电气与电子技术	278
1.1 电工基础	278
1.1.1 基本的直流电路	278
1.1.2 直流电路中的规律	279
1.1.3 汽车上的直流电路	279
1.1.4 线路符号与电路图	280
1.2 汽车电气设备	281
1.2.1 照明装置	281
1.2.2 信号装置	285
1.2.3 报警闪光信号装置	286
1.2.4 汽车电机	287
1.3 汽车电子技术基础	290
1.3.1 半导体元件	290



1.3.2 电阻与电容	292
1.3.3 汽车电子设备的基本电路	293
汽车电气与电子学复习题	296
1.4 蓄电池点火系统	297
1.4.1 高压电的产生	298
1.4.2 高压分电及电火花的形成	302
1.4.3 触点闭合角的电子控制与调节	303
1.4.4 点火提前角的调节	305
1.4.5 全电子高压分电点火系统	308
1.4.6 各类蓄电池点火系统的比较	309
1.4.7 磁电机点火系统	310
1.4.8 柴油机的预燃塞	311
蓄电池点火系统复习题	312





2 电流供给系统 314

2.1 三相交流发电机 315

2.1.1 电工基础 315

2.1.2 爪状磁极发电机 316

2.1.3 三相交流发电机的电压调节器 318

2.1.4 交流发电机与直流发电机的 比较 319

2.2 起动用蓄电池 320



3 起动装置 322

3.1 电工基础 322

3.2 滑动-螺旋接合式起动机 323

电流供给系统与起动装置复习题 325



4 汽车的电子控制与调节系统 327

4.1 控制与调节技术基础 328

4.1.1 控制系统 328

4.1.2 调节系统 329

4.2 控制与调节系统中的信号处理

及执行元件 330

4.2.1 对运行数据的采集 330

4.2.2 执行机构(执行元件) 332

4.2.3 微机数据处理 333

4.3 点火与混合气形成的复合系统 334

4.3.1 电子汽油喷射与点火系统 (Motronic) 334

4.3.2 Multec 型集中汽油喷射(单点 喷射)系统 338

4.3.3 增压发动机爆燃调节原理框图 341

4.4 驾驶员电子信息系统 342

4.4.1 数字式仪表板 342

4.4.2 检测监视系统 342

4.4.3 车载计算机 342

4.5 电子安全系统; 安全气囊与安全带 343

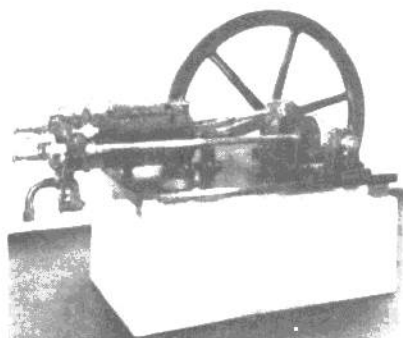
4.6 舒适性电子系统; 车速调节装置 344

4.7 汽车电子系统数据总线 CAN 345

电子控制与调节系统复习题 347

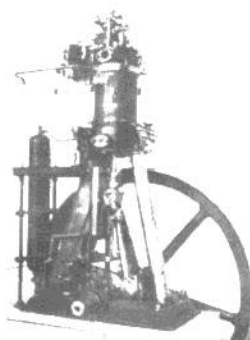
第一台四冲程汽油发动机(1876)

气缸数	1
气缸工作容积	6.1 L
气缸直径	161 mm
活塞行程	300 mm
功率	3 PS(2.2 kW)
相应转速	180 r/min



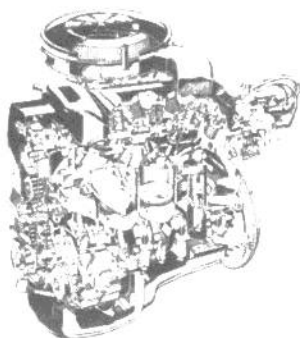
第一台柴油发动机(1897)

气缸数	1
气缸工作容积	20 L
气缸直径	250 mm
活塞行程	400 mm
功率	20 PS(14.7 kW)
相应转速	172 r/min



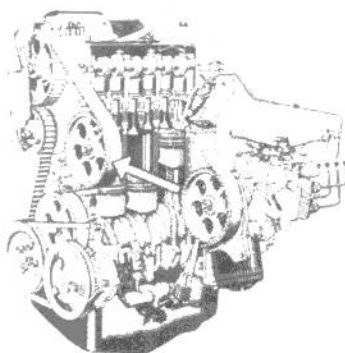
现代直列式汽油发动机(1980)

气缸数	4
气缸工作容积	1.6 L
气缸直径	79.96 mm
活塞行程	79.52 mm
功率	79 PS(58 kW)
相应转速	5800 r/min



现代轿车用柴油发动机(1980)

气缸数	4
气缸工作容积	1.47 L
气缸直径	76.4 mm
活塞行程	80 mm
功率	50 PS(37 kW)
相应转速	5000 r/min
压缩比	23.5





发动机

1 四冲程汽油发动机

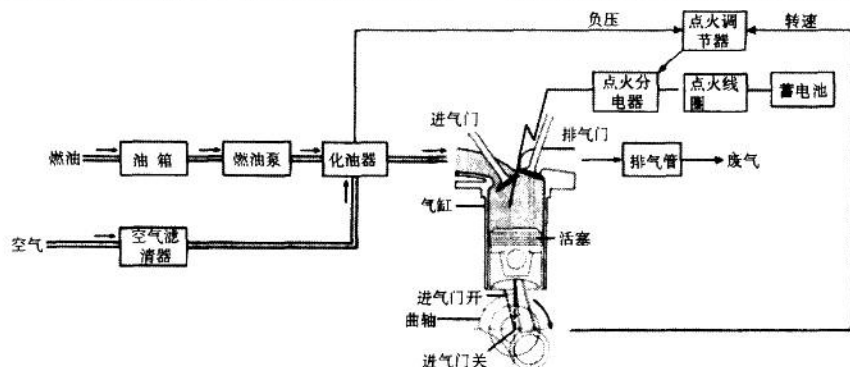
1.1 四冲程工作原理

1.1.1 单缸发动机

活塞在气缸内上下运动, 连杆和曲轴将活塞的往复运动变为旋转运动。

燃油和空气在化油器中以适当的比例混合,

混合比为 14.7:1, 也就是说, 燃烧 1kg 燃油需要 14.7kg 空气。气门控制混合气的供给, 废气由排气门排出, 曲轴通过链条或齿轮传动机构驱动凸轮轴, 进而控制气门, 点火装置用火花塞上的电火花及时地将混合气点燃。



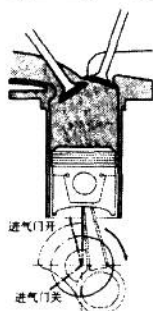
为说明发动机的功能, 汽车机械师有必要了解一系列发动机的技术概念。

发动机技术概念			
止点	冲程	气缸工作容积 压缩容积	曲轴转角
止点是活塞的折返点: 上止点 (OT), 下止点 (UT)。	冲程是活塞在上止点和下止点之间的运动距离。	气缸工作容积 V_b 是上止点和下止点间的容积。压缩容积 V_c 是上止点以上的容积。	曲轴转角以“度”描述曲轴轴颈相对上止点和下止点的位置 (曲轴转角$^\circ$)。

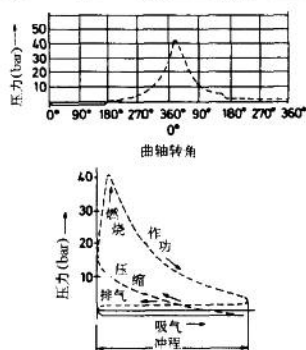


第1冲程：吸气

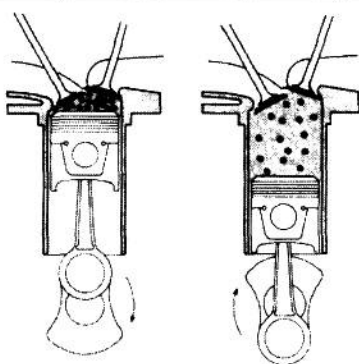
吸气冲程



示功图



气缸的填充



活塞由上止点向下止点运动，进气门打开，排气门关闭。由于活塞下行，容积变大，产生0.1~0.2 bar的负压。由此，在化油器中形成空气和燃油的混合气（新气），并吸入气缸。

吸气过程中，因为气缸内的负压大致不变化，所以，发动机示功图上的负压是一根直线。

发动机功率取决于气缸内新气的填充量。当发动机高速运转时，让新气在气门短暂开启中完全充满气缸是根本不可能的，气缸内总存有废气。汽油发动机的填充量最大可达80%，也就是说，新气只能填充气缸的80%。

以下措施可改善气缸填充：

● 延长气门开启时间

进气门在上止点前 $10^{\circ}\sim 30^{\circ}$ 开启，此时，排气门仍然开着，流出的气体在气缸内产生负压，它使活塞下行前新气在进气管内流动。排气门在上止点后 $5^{\circ}\sim 20^{\circ}$ 关闭。从上止点到下止点进气门完全打开。吸气冲程中气缸容积内形成负压，新气以100 m/s的速度流动，进气门在下止点后 $40^{\circ}\sim 60^{\circ}$ 关闭，虽然活塞又向上运动，由于惯性作用，新气通过仍开启的进气门继续流入气缸，直至升高的压力使运动停止，且进气门关闭。

因此，进气门最大可开启 270° （上止点前 $30^{\circ}+180^{\circ}+下止点后\ 60^{\circ}$ ），而比吸气冲程更长。

● 减少吸气冲程的流动阻力

进气管必须尽可能地平滑、短且少弯曲，进气门和进气管断面必须尽可能地大。

● 气缸壁冷却良好

新气在气缸壁上受热、膨胀，其空气密度减小，吸进的气量下降。

● 减小压缩容积

● 采用涡轮增压装置增压

