



“十三五”职业教育国家规划教材

高等职业教育精品工程系列教材·汽车制造与试验技术专业

汽车发动机构造与检修

(第5版)

蒋瑞斌 扶爱民 主 编

李全利 秦会斌 朱晓波 副主编

电子工业出版社版权所有
盗版必究

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书系统地介绍了汽车发动机工作原理、曲柄连杆机构的构造与维修、配气机构的构造与维修、汽油发动机电控汽油喷射系统的构造与维修、柴油机燃料供给系统的构造与维修、发动机冷却系统的构造与维修、发动机润滑系统的构造与维修、发动机的装配与磨合、点火系统的构造与维修及汽车起动系统的构造与维修等内容。

本书既可作为高等职业院校汽车各专业的教材，也可作为汽车维修的培训教材，还可供汽车维修从业人员、技师学习参考。

未经许可，不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有，侵权必究。

图书在版编目（CIP）数据

汽车发动机构造与检修 / 蒋瑞斌，扶爱民主编. —5 版. —北京：电子工业出版社，2022.6

ISBN 978-7-121-38023-5

I. ①汽… II. ①蒋… ②扶… III. ①汽车—发动机—构造—高等学校—教材②汽车—发动机—车辆修理—高等学校—教材 IV. ①U472.43

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2019）第 268638 号

责任编辑：郭乃明

印 刷：

装 订：

出版发行：电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本：787×1 092 1/16 印张：21.5 字数：634 千字

版 次：2005 年 3 月第 1 版

2022 年 6 月第 5 版

印 次：2022 年 6 月第 1 次印刷

定 价：59.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题，请向购买书店调换。若书店售缺，请与本社发行部联系，联系及邮购电话：（010）88254888，88258888。

质量投诉请发邮件至 zlbs@phei.com.cn，盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

本书咨询联系方式：（010）88254561，guonm@phei.com.cn。

前 言

职业教育的目的是使学生在相应的职业技术群中实现零距离就业，职业技术教育的教材宗旨是与行业领域的技术“零距离”接轨。

本书在“十二五”职业教育国家规划教材《汽车发动机构造与维修（第4版）》的基础上修订而成。

全书共10章，内容包括：发动机的基础知识、曲柄连杆机构的构造与维修、配气机构的构造与维修、电子控制汽油喷射供给系统的构造与维修、柴油机燃料供给系统的构造与维修、发动机冷却系统的构造与维修、发动机润滑系统的构造与维修、发动机的装配与磨合、汽油发动机点火系统的构造与维修、起动系统的构造与维修等。

本书由湖南生物机电职业技术学院蒋瑞斌、扶爱民（副教授）担任主编，陕西交通职业技术学院李全利（副教授）、山西长治职业技术学院秦会斌（副教授）、郴州职业技术学院朱晓波分别担任副主编。相关章节由蒋瑞斌统筹，实训部分由湖南生物机电职业技术学院的蒋欲刚编写，全书由扶爱民审定统稿。参加教材编写的还有吉林交通职业技术学院的高寒老师，河北师大职业技术学院的邢世凯老师。

在教材的编写过程中，得到了湖南生物机电职业技术学院、陕西交通职业技术学院、山西长治职业技术学院、郴州职业技术学院、吉林交通职业技术学院、河北师大职业技术学院的大力支持，在此一并表示感谢。

依行业约定俗成的习惯，本书对压强的叙述均以“压力”代替。

由于编者水平所限，加之时间仓促，书中难免存在缺点、错误，恳请读者批评指正。

编 者

目 录

汽车总论	1	复习思考题	33
0.1 汽车类型与总体构造	1	第2章 曲柄连杆机构的构造与维修	34
0.1.1 国产汽车的类型	1	2.1 曲柄连杆机构概述	34
0.1.2 国外汽/车分类	3	2.1.1 功用与组成	34
0.1.3 汽车总体构造及布置形式	3	2.1.2 工作条件与受力分析	34
0.2 汽车产品型号与汽车识别代号	5	2.2 机体组	36
0.2.1 国产汽车产品型号编制规则	5	2.2.1 汽缸体与曲轴箱	36
0.2.2 车辆识别代号(VIN)	6	2.2.2 汽缸体与汽缸套	38
0.3 汽车修理预备知识	7	2.2.3 曲轴箱、油底壳	39
0.3.1 汽车零件的耗损形式	7	2.2.4 汽缸盖	40
0.3.2 发动机的维护	8	2.2.5 发动机的支承	42
0.3.3 发动机的修理	9	2.3 活塞连杆组	43
0.3.4 故障诊断与检测技术	11	2.3.1 活塞	43
复习思考题	11	2.3.2 活塞环	47
第1章 发动机的基础知识	12	2.3.3 活塞销	51
1.1 发动机的总体构造及基本原理	12	2.3.4 连杆	52
1.1.1 概述	12	2.4 曲轴飞轮组	54
1.1.2 发动机的总体构造	12	2.4.1 曲轴	55
1.1.3 发动机的常用术语	13	2.4.2 曲轴扭转减震器	61
1.1.4 单缸四冲程发动机的 工作原理	14	2.4.3 汽车发动机滑动轴承	62
1.1.5 二冲程发动机的工作原理	18	2.4.4 飞轮	63
1.2 发动机基本参数	20	2.5 曲柄连杆机构的维护	64
1.2.1 发动机型号	20	2.5.1 积炭的清除	64
1.2.2 发动机的性能指标	22	2.5.2 曲轴轴承配合间隙的检验	64
1.2.3 影响发动机工作性能的 主要因素	29	2.6 发动机异响诊断	65
实训 汽车发动机的总体观察 及发动机工作循环研究	31	2.6.1 概述	65
		2.6.2 常见异响及经验诊断法	66
		2.7 汽缸体的检修	67
		2.7.1 汽缸体裂纹的检修	67

2.7.2 汽缸体变形的检修·····	67	第3章 配气机构的构造与维修·····	92
2.7.3 汽缸的常见损伤与检验·····	69	3.1 配气机构的构造·····	92
2.7.4 修理尺寸的确定·····	71	3.1.1 配气机构的功用与组成·····	92
2.8 汽缸盖的检修·····	71	3.1.2 配气机构的分类·····	93
2.9 活塞组的选配·····	72	3.1.3 配气相位与配气相位图·····	96
2.9.1 活塞的损伤现象·····	72	3.1.4 气门间隙·····	98
2.9.2 活塞的选配·····	73	3.2 配气机构的主要零件和组件·····	99
2.9.3 活塞环的选配·····	74	3.2.1 气门组·····	99
2.9.4 活塞销的选配·····	75	3.2.2 气门传动组·····	104
2.10 连杆组的检修·····	76	3.2.3 可变配气技术简介·····	109
2.10.1 连杆变形的检验与校正·····	76	3.3 配气机构的维修·····	113
2.10.2 连杆衬套的修复·····	78	3.3.1 气门组零件的检修·····	113
2.10.3 连杆其他损伤的检修·····	79	3.3.2 气门传动组的修理·····	117
2.11 活塞连杆组的组装·····	79	3.3.3 配气机构的检查与调整·····	119
2.11.1 确定活塞与连杆安装的 相对位置·····	79	3.3.4 汽缸密封性的检测·····	122
2.11.2 装配工艺要点·····	80	3.4 配气机构异响诊断·····	125
2.11.3 组装后的质量检查·····	80	3.4.1 气门脚响·····	125
2.11.4 安装时的注意事项·····	80	3.4.2 气门挺柱响·····	126
2.11.5 活塞连杆组的装机·····	81	3.4.3 气门座响·····	126
2.12 曲轴的耗损及检验·····	81	3.4.4 气门弹簧响·····	126
2.12.1 曲轴的常见损伤·····	81	3.4.5 正时齿轮响·····	126
2.12.2 曲轴裂纹的检验·····	82	3.4.6 凸轮轴异响·····	127
2.12.3 曲轴磨损的检验·····	82	3.4.7 液力挺柱响·····	127
2.12.4 曲轴变形的检验·····	83	实训 3.1 配气机构的拆装与 结构观察·····	127
2.12.5 曲轴弯曲变形的校正·····	84	实训 3.2 气门间隙与配气相位的 检查与调整·····	128
2.12.6 飞轮的修理·····	84	实训 3.3 配气机构主要零件的修理·····	129
2.13 曲轴轴承的选配与修整·····	85	复习思考题·····	130
2.13.1 轴承的常见损伤现象 及原因·····	85	第4章 汽油发动机电控汽油喷射系统的 构造与维修·····	131
2.13.2 轴瓦选配的基本要求·····	86	4.1 汽油发动机电控汽油喷射系统的 基础知识·····	131
实训 2.1 机体组零件的拆装与检修·····	86	4.1.1 汽油的基础知识·····	131
实训 2.2 活塞连杆组件的组装 与检修·····	88	4.1.2 汽油发动机燃烧过程 分析·····	132
实训 2.3 曲轴飞轮组件的拆装 与检修·····	89		
复习思考题·····	90		

4.1.3 混合气的形成及对发动机性能的影响	133	实训 4.4 电控汽油喷射式发动机故障的诊断与排除	171
4.1.4 混合气的浓度	134	复习思考题	172
4.1.5 不同浓度的混合气对发动机性能的影响	134	第 5 章 柴油机燃料供给系统的构造与维修	173
4.1.6 汽油机不同工况对混合气的要求	135	5.1 柴油机燃料供给系统的组成及燃料	173
4.2 汽油发动机电控汽油喷射系统的分类与组成	136	5.1.1 柴油机燃料供给系统的功用及要求	173
4.2.1 汽油喷射式发动机的特点	136	5.1.2 柴油机燃料供给系统的组成	173
4.2.2 电控汽油喷射系统的分类	136	5.1.3 燃油供给路线	173
4.3 电控汽油喷射系统及其主要部件	139	5.1.4 柴油的性能指标	174
4.3.1 系统的组成与控制原理	139	5.1.5 轻柴油的选择与使用	175
4.3.2 主要部件	141	5.1.6 柴油机燃烧过程分析	175
4.4 电控汽油喷射式发动机的使用与维护	153	5.2 可燃混合气的形成与燃烧室	176
4.4.1 电控汽油喷射式发动机的使用	153	5.2.1 可燃混合气的形成特点	176
4.4.2 维护保养的注意事项	154	5.2.2 混合气的形成方式	176
4.5 电控汽油喷射系统的故障自诊断	154	5.2.3 柴油机燃烧室	177
4.5.1 故障自诊断系统	154	5.3 喷油器	179
4.5.2 故障代码的读取与清除	156	5.3.1 喷油器的功用与分类	179
4.6 发动机 ECU 主要部件的检修	157	5.3.2 喷油器的结构与工作原理	180
4.6.1 发动机 ECU 的检修	157	5.4 喷油泵	182
4.6.2 传感器的检修	158	5.4.1 喷油泵概述	182
4.6.3 执行器的检修	160	5.4.2 柱塞式喷油泵的基本结构与工作原理	183
4.7 电控汽油喷射式发动机的故障诊断	162	5.4.3 VE 泵柴油机的供油系统	188
4.7.1 故障诊断的基本原则	162	5.4.4 供油规律、供油起始时刻、喷油提前角与喷油正时装置	193
4.7.2 常见故障诊断	162	5.5 调速器	196
实训 4.1 汽油机电控汽油喷射系统的结构观察与拆装	168	5.5.1 柱塞式喷油泵的速度特性及调速器的功用与形式	196
实训 4.2 电控汽油喷射系统主要部件的性能检测	169	5.5.2 机械离心式调速器的基本构造与工作原理	197
实训 4.3 电控汽油喷射系统常用检测诊断设备的使用	170		

5.5.3 几种常用的汽车柴油机 调速器·····	198	实训 5.4 电控喷油器的拆装、检查 与调整·····	234
5.6 柴油机燃料供给系统的 辅助装置·····	205	复习思考题·····	235
5.6.1 柴油滤清器·····	205	第 6 章 发动机冷却系统的构造与维修 ·····	236
5.6.2 油水分离器·····	205	6.1 概述·····	236
5.6.3 输油泵·····	206	6.1.1 冷却系统的功用与类型·····	236
5.6.4 柴油机的低温起动 辅助装置·····	207	6.1.2 风冷系统·····	236
5.6.5 废气涡轮增压·····	208	6.1.3 水冷系统·····	237
5.6.6 柴油机的排气净化·····	209	6.1.4 冷却水的特点与选用·····	238
5.7 柴油机燃料供给系统的维修·····	210	6.2 水冷系统主要部件的构造·····	238
5.7.1 柴油机燃料供给系统的 维护·····	210	6.2.1 水冷系统的主要部件·····	238
5.7.2 喷油器的检修·····	210	6.2.2 冷却强度的调节装置·····	241
5.7.3 喷油泵和调速器的检修·····	211	6.3 冷却系统的维修·····	245
5.7.4 柴油机燃料供给系统的 调试·····	215	6.3.1 冷却系统的使用与 维护保养·····	245
5.8 柴油机燃料供给系统故障诊断 与排除·····	216	6.3.2 散热器的检查与修理·····	246
5.8.1 柴油机起动困难·····	216	6.3.3 水泵的检查与修理·····	247
5.8.2 柴油机功率不足·····	218	6.3.4 节温器的检查与更换·····	248
5.8.3 柴油机工作粗暴·····	220	6.3.5 风扇的检修·····	249
5.8.4 柴油机飞车·····	221	6.4 冷却系统的故障诊断与排除·····	249
5.9 柴油机电控燃油喷射系统·····	221	6.4.1 冷却水温度过高·····	249
5.9.1 柴油机电控燃油喷射系统的 类型·····	221	6.4.2 漏水·····	251
5.9.2 电控蓄压式共轨燃油喷射 系统的组成·····	221	6.4.3 水温过低·····	252
5.9.3 柴油机电控蓄压式共轨燃油 喷射系统的主要部件·····	223	实训 冷却系统主要部件的检查、 维护与调整·····	252
5.9.4 博世 MS5.3 电控蓄压式共轨 燃油喷射系统的故障诊断与 检修·····	229	复习思考题·····	253
实训 5.1 喷油泵的拆装·····	231	第 7 章 发动机润滑系统的构造与维修 ·····	254
实训 5.2 喷油泵的调试·····	232	7.1 概述·····	254
实训 5.3 喷油泵的车上安装与调整·····	233	7.1.1 润滑系统的功用·····	254
		7.1.2 发动机润滑剂·····	254
		7.1.3 润滑方式·····	256
		7.1.4 润滑系统的组成和 工作原理·····	256
		7.1.5 润滑系统的油路·····	257
		7.2 润滑系统的主要部件·····	259
		7.2.1 机油泵·····	259

7.2.2	机油滤清器	261	第 9 章	汽油发动机点火系统的 构造与维修	291
7.2.3	机油散热装置	264	9.1	概述	291
7.2.4	曲轴箱通风装置	265	9.1.1	点火系统的功用	291
7.3	润滑系统的维修	266	9.1.2	点火系统的分类	291
7.3.1	润滑系统的维护	267	9.2	传统点火系统的组成与工作原理	292
7.3.2	机油泵的修理	267	9.2.1	传统点火系统的组成	292
7.3.3	机油滤清器的检修	268	9.2.2	传统点火系统的工作原理	292
7.3.4	机油压力开关的检测	269	9.3	传统点火系统主要元件	293
7.3.5	发动机机油压力的检测	269	9.3.1	点火线圈	293
7.3.6	机油质量的检查	269	9.3.2	分电器	295
7.4	润滑系统常见故障诊断与排除	270	9.3.3	火花塞	298
7.4.1	机油压力过低	270	9.4	无触点电子点火系统	300
7.4.2	机油压力过高	270	9.4.1	电子点火系统的组成与 分类	300
7.4.3	机油消耗过多	271	9.4.2	磁感应式电子点火系统	301
7.4.4	油底壳油面自行升高	271	9.4.3	霍尔效应式电子点火系统	302
7.4.5	机油变质	271	9.5	计算机控制点火系统	306
实训	润滑系统的结构观察与维护	272	9.5.1	系统组成	306
复习思考题		273	9.5.2	工作原理	307
第 8 章	发动机的装配与磨合	274	9.6	计算机控制无分电器点火系统	308
8.1	发动机的装配与调试	274	9.7	点火系统的使用与故障诊断	308
8.1.1	发动机装配注意事项	274	9.7.1	点火正时	308
8.1.2	装配顺序与调整	275	9.7.2	点火系统的维护	309
8.2	发动机的磨合	279	9.7.3	点火系统主要部件的检修	309
8.2.1	磨合试验的目的	279	9.7.4	点火系统常见故障的诊断	312
8.2.2	磨合试验设备	279	实训 9.1	传统点火系统主要部件的 检测及故障诊断	313
8.2.3	磨合规范	280	实训 9.2	电子点火系统主要部件的检测 与故障诊断	314
8.3	发动机总成修理竣工技术条件	281	复习思考题		316
8.3.1	一般技术要求	281	第 10 章	起动系统的构造与维修	317
8.3.2	主要使用性能	281	10.1	概述	317
8.4	发动机试验	282	10.1.1	起动系统的概念	317
8.4.1	发动机试验设备	282	10.1.2	发动机的起动条件	317
8.4.2	无负荷测功	284	10.1.3	发动机的起动方式	317
8.4.3	发动机特性	285			
实训 8.1	发动机的装配与调整	288			
实训 8.2	发动机的磨合	289			
复习思考题		290			

10.1.4	冷起动辅助装置·····	318	10.4.2	电磁开关的工作过程·····	326
10.2	起动机·····	319	10.4.3	典型起动机实例 ——强制啮合式起动机·····	326
10.2.1	起动机的组成与分类·····	319	10.5	起动系统的使用与维护·····	327
10.2.2	起动机的型号·····	320	10.5.1	使用注意事项·····	328
10.2.3	直流电动机·····	321	10.5.2	起动机的维护·····	328
10.2.4	直流电动机的工作原理·····	322	10.5.3	起动机的调整与试验·····	329
10.3	起动机的传动机构·····	323	实训	起动系统的拆装与调整·····	330
10.3.1	滚柱式单向离合器·····	323	复习思考题·····		332
10.3.2	摩擦片式单向离合器·····	324	参考文献·····		333
10.3.3	弹簧式单向离合器·····	325			
10.4	起动机的控制机构·····	325			
10.4.1	电磁操纵式控制机构的 结构·····	326			

电子工业出版社版权所有
盗版必究

汽车总论

学习目标

- 熟悉汽车类型与总体构造，国内外汽车分类标准。
- 了解汽车分类、汽车型号、汽车识别代号。
- 掌握汽车修理的预备知识。

0.1 汽车类型与总体构造

0.1.1 国产汽车的类型

汽车是指由自身动力装置驱动，具有4个或4个以上车轮的非轨道无架线的车辆，其主要用途是载运人员或货物。

汽车的类型很多，分类方法也很多，我国现行的汽车分类标准主要有 GB/T 15089—2001、GB/T 3730.1—2001 等。

1. 按 GB/T 15089—2001 分类

GB/T 15089—2001 是机动车和挂车的分类，是形式认证、各技术法规适用范围的依据。根据 GB/T 15089—2001 分类办法，将汽车及挂车分为 M 类、N 类、G 类、O 类和 L 类五种类型。

(1) M 类车辆。至少具有四个车轮的载客车辆，根据乘员数或座位数、最大设计总质量分为 M1、M2 和 M3 三类。其中 M1、M2 类车辆根据乘员数及对乘员的要求，又可分为 A 级、B 级、I 级、II 级、III 级五个细类。

(2) N 类车辆。至少有四个车轮且用于载货车辆，根据最大设计总质量分为 N1、N2 和 N3 三类。

(3) G 类车辆。可概括为越野汽车，包括在 M 类或 N 类之中，即满足要求的 M 类、N 类的越野车。

(4) O 类车辆。包括半挂车在内的挂车，根据最大设计总质量分为 O1、O2、O3 和 O4 四类。

(5) L 类车辆。两轮或三轮车辆。根据车辆使用的热力发动机排量、车轮数，又分为 L1、L2、L3、L4 和 L5 五类。

2. 按 GB/T 3730.1—2001 分类

GB/T 3730.1—2001 是汽车行业的“通用性分类”，适用于一般概念、统计、牌照、保险、政府政策和管理的依据。

GB/T 3730.1—2001 根据车辆的设计和技术特性，分为汽车、挂车和汽车列车。将汽车分为乘用车和商用车两大类，如图 0.1 所示。

3. 按旧有标准分类

习惯上也可根据旧有标准将汽车分为 4 类，如表 0.1 所示。

根据旧有标准的规定，运输汽车按照其主要特征参数分级，如表 0.2 所示。

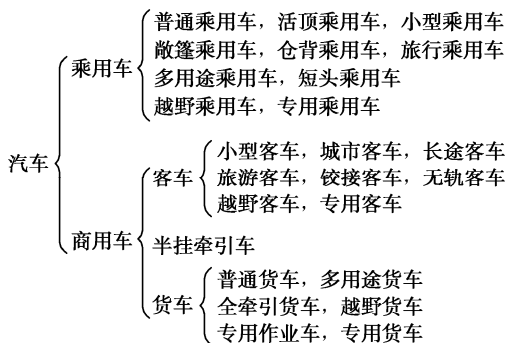


图 0.1 汽车分类

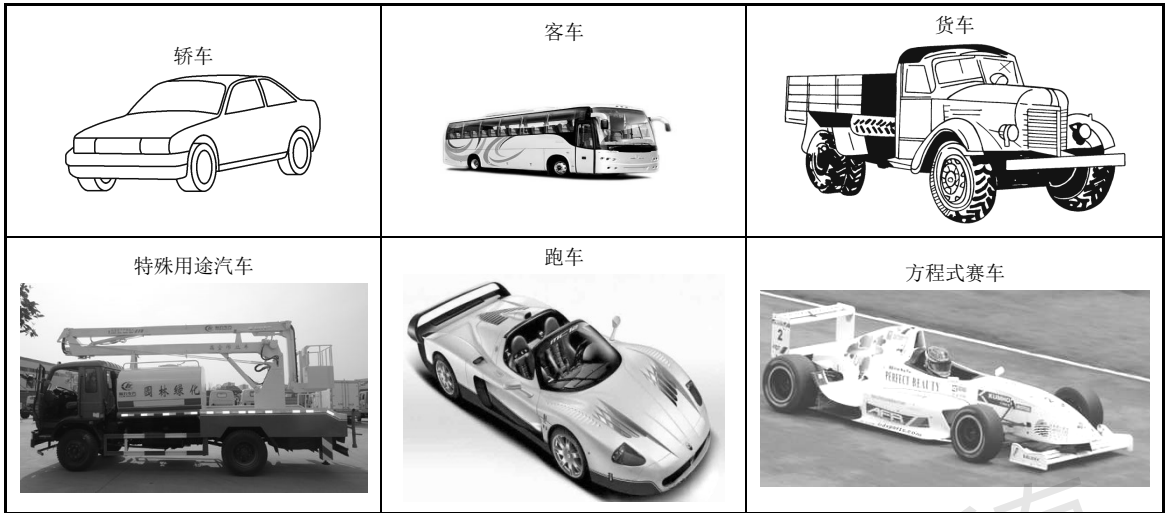
表 0.1 国产汽车分类

按用途分	运输汽车	轿车：按发动机工作容积分级
		客车：按车辆总长度分级
		货车：按汽车的总质量分级
特种运输汽车	特种用途汽车：如商业售货车、医疗救护车、公安消防车、环卫环保作业车、市政建设工程作业车、农牧副渔作业车、石油地质作业车、机场作业车等	竞赛汽车：F ₁ 方程式赛车、拉力赛车等
		娱乐汽车：旅游汽车、高尔夫球场专用车、海滩游玩汽车等
按动力装置类型分	活塞式内燃机汽车	分为汽油车、柴油车、代用燃料车（代用燃料包括合成液体石油、液化石油气、压缩天然气、醇类等）
	电动汽车	以电动机为驱动机械，以蓄电池为能源的车辆
	复合车	有发动机和蓄能器两套动力源的车辆
	燃气轮机汽车	以燃气轮机为动力，靠气轮驱动的汽车
按行使道路条件分	公路车	适用于公路和城市道路上行驶的汽车
	非公路车	一类是只能在矿山、机场、工地、专用道路等非公路地区使用
		另一类是能在无路地面上行驶的高通过性的越野汽车
按行驶机构的特征分	轮式汽车	分为非全轮驱动和全轮驱动两种类型。汽车驱动形式一般用符号“n×m”（车轮总数×驱动轮数）表示： 4×2 非全轮驱动，如普通轿车及大多数汽车。 4×4 全轮驱动轻型越野汽车，如奇瑞瑞虎。 6×6 中型越野汽车，如 EQ2080 型
	其他形式的车辆	如履带式、雪橇式、气垫式、步行机械式车辆等

表 0.2 运输汽车分级

(1) 轿车：载送 2~9 个乘员，主要供私人用的汽车		
分级	发动机工作容积/L	示 例
微型	≤1.0	奥拓、夏利 TJ7100、福莱尔
普通	>1.0~≤1.6	捷达王、富康 988、羚羊 7130
中级	>1.6~≤2.5	桑塔纳 2000、奥迪 100、红旗 CA7220
中高级	>2.5~≤4.0	丰田皇冠、奔驰 300、别克新世纪
高级	>4.0	凯迪拉克、林肯、奔驰 S600、奥迪 A6
(2) 客车：载送 9 个以上乘员，供公共服务用的汽车		
分级	车辆总长度/m	示 例
微型	≤3.5	松花江 HF6350、天津大发
轻型	>3.5~≤7	解放 CA6440、金杯 RZH114L
中型	>7~≤10	四平 SPK6900、金华 BK6820LPG
大型	>10~≤12	黄海 DD6112H、上海 SK6115KHP2
特大型	铰接式客车与双层客车	上海 SK6142 铰接式客车、金陵 JLY6121 双层客车
(3) 货车：载送货物的运输汽车		
分级	汽车总质量/t	示 例
微型	≤1.8	福田微卡、小卡、轻卡
轻型	>1.8~≤6	北京 BJ1041、跃进 NJ1060、江铃 JX1030DS
中型	>6~≤14	解放 1091、解放 1092、东风 1090E
重型	>14	黄河 1171、斯太尔重型汽车

部分车型示例:



0.1.2 国外汽车分类

1. 欧系车的分类

欧系车的分类以德国大众的轿车分类最具代表性。大多按排量或轴距对汽车进行分类。通常把轿车分为 A、B、C、D、E、F 和 G 级，字母顺序越靠后，该级别车的轴距越长，排量和重量越大。

2. 按设计理念分类

按设计理念分类，是指各汽车制造商在成熟的轿车构造基础上，充分考虑消费者对汽车的经济性、安全性、外观、空间、舒适性、科技感的综合需求，融合跑车、运动、休闲、越野、娱乐等多种车型元素，以多功能（或多功能）进化型轿车的产品定位，设计出功能至上的诸如 PICK-UP、SUV、CRV、SRV、RAV、HRV、MPV、CUV、NCV、RV 汽车，满足消费者的用车需求。

0.1.3 汽车总体构造及布置形式

1. 汽车总体构造

汽车通常由发动机、底盘、车身、电气设备 4 部分组成。典型轿车的总体构造如图 0.2 所示。

(1) 发动机。发动机的作用是使输进汽缸内的燃料燃烧而输出动力。现代汽车广泛应用往复式内燃机，它一般由机体、曲柄连杆机构、配气机构、燃油供给系统、冷却系统、润滑系统、点火系统（汽油发动机采用）、起动系统等部分组成。

(2) 底盘。底盘接受发动机的动力，使汽车产生运动，并保证汽车按照驾驶员的操纵正常行驶。底盘由下列部分组成。

① 传动系统——将发动机的动力传给驱动车轮。传动系统包括离合器、变速器、传动轴、主减速器及差速器、传动轴（半轴）等部分。

② 行驶系统——使汽车各总成及部件安装在适当位置，对全车起支承作用和对路面起附着作用，

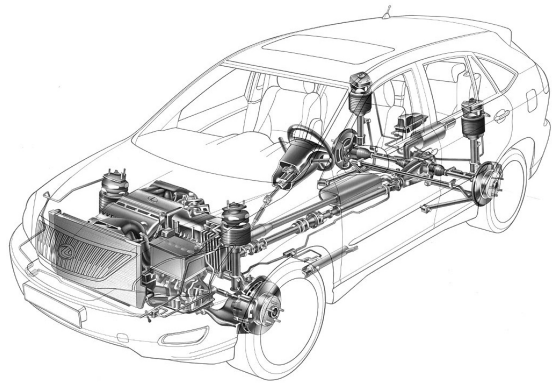


图 0.2 典型轿车的总体构造

缓和道路冲击和振动。它包括支承全车的承载式车身及车架、前悬架、前轮、后悬架、后轮等部分。

③ 转向系统——使汽车按驾驶员选定的方向行驶。它由带转向盘的转向操作机构、转向器及转向传动机构组成，有的汽车还有转向助力装置。

④ 制动系统——使汽车减速或停车，并可保证驾驶员离去后汽车可靠地停驻。它包括前轮制动器、后轮制动器，以及控制装置、传动装置和供能装置。

(3) 车身。车身是驾驶员的工作场所，也是装载乘客和货物的部件。它包括车前板制件（俗称车头）、车身本体，还包括货车的驾驶室和货箱，以及某些汽车上的专用作业设备。

(4) 电气设备。电气设备包括电源组、发动机起动系统和点火系统、汽车照明和信号装置、仪表、导航系统、电视、音响、电话等电子设备，以及微处理机、中央计算机、各种人工智能装置等。

2. 汽车的总体布置形式

汽车的总体布置与发动机的位置及汽车的驱动方式有关，一般有发动机前置后轮驱动（FR）、发动机前置前轮驱动（FF）、发动机后置后轮驱动（RR）、发动机中置后轮驱动（MR）、发动机前置全轮驱动（nWD）等，如图 0.3 所示。

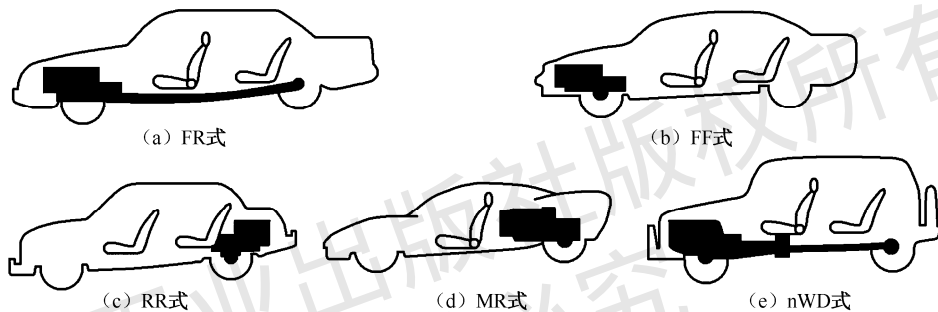


图 0.3 汽车的总体布置形式

(1) 发动机前置后轮驱动简称前置后驱动，英文简称为 FR。如图 0.3 (a) 所示。这是一种传统的布置形式，应用广泛，适用于除越野汽车外的各类型汽车，如大多数的货车、部分轿车和部分客车都采用这种形式。

(2) 发动机前置前轮驱动简称前置前驱动，英文简称 FF，如图 0.3 (b) 所示。根据发动机布置的方向又分为发动机前横置前轮驱动和发动机前纵置前轮驱动（主减速器不同）。这种布置形式在变速器与驱动桥之间省去了万向传动装置，使结构简单紧凑，整车质量小，高速时操纵稳定性好。大多数轿车采用这种布置形式，但这种布置形式的爬坡性能差，豪华轿车一般不采用，而是采用传统的发动机前置后轮驱动。

(3) 发动机后置后轮驱动简称后置后驱动，英文简称 RR。如图 0.3 (c) 所示。发动机布置在汽车后部，动力经过离合器、变速器、角传动装置、万向传动装置、后驱动桥，最后传到后驱动车轮，使汽车行驶。这种布置形式便于车身内部的布置，减小室内发动机的噪声，一般用于大型客车。

(4) 发动机中置后轮驱动简称中置后驱动，英文简称 MR。如图 0.3 (d) 所示。MR 是目前大多数跑车及方程式赛车所采用的形式。由于汽车采用功率和尺寸很大的发动机，将发动机布置在驾驶员座椅之后和后轴之前有利于获得最佳轴荷分配和提高汽车性能。此外，某些大、中型客车也采用这种布置形式，把配备的卧式发动机装在地板下面。

(5) 发动机前置全轮驱动简称全轮驱动，英文简称 nWD。如图 0.3 (e) 所示，发动机布置在汽车前部，动力经过离合器、变速器、分动器、万向传动装置分别到达前后驱动桥，最后传到前后驱动车轮，使汽车行驶。由于所有的车轮都是驱动车轮，提高了汽车的越野通过性能，这是越野汽车采取的布置形式。

0.2 汽车产品型号与汽车识别代号

0.2.1 国产汽车产品型号编制规则

按照国标《汽车产品型号编制规则》，国产汽车产品型号应能表明汽车的厂牌、类型和主要特征参数等。该型号由拼音字母和阿拉伯数字组成，包括首部、中部、后部和尾部，如图 0.4 所示。

□：用汉语拼音字母表示，字母“I”和“O”不能使用；○：用阿拉伯数字表示；■：用汉语拼音字母或阿拉伯数字均可。

首部——企业代号，用代表企业名称的两个汉语拼音字母表示。如 CA 代表一汽，EQ 代表二汽，SH 代表上海等。

中部——由 4 位数字组成，分为首位、中间两位和末位数字三部分。其含义如表 0.3 所示。

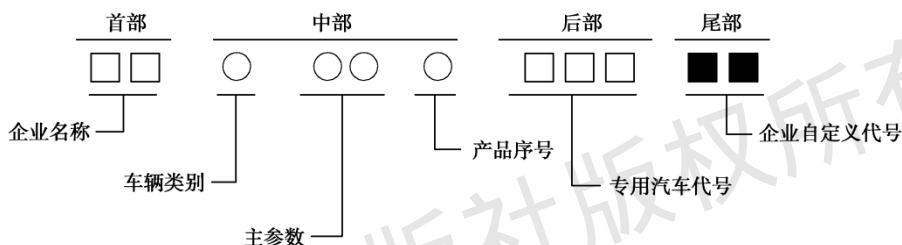


图 0.4 汽车产品型号的组成

表 0.3 国产汽车产品型号中部 4 位数字含义

首位数字 (1~9) 表示车辆类别	中间两位数字 表示汽车主要特征参数	末位数含义
1—载货汽车	汽车的总质量②	企业自定产品序号
2—越野汽车		
3—自卸汽车		
4—牵引汽车		
5—专用汽车①		
6—客车	数字×0.1m 表示车辆总长度③	
7—轿车	数字×0.1L 表示发动机排量	
9—半挂车或专用半挂车	汽车的总质量	

① 专用汽车指专用货车或特种作业汽车。
② 汽车总质量大于 100t 时允许用 3 位数字。
③ 汽车长度大于 10m 时，计算单位为 m。

后部——专用汽车分类或变型车与基本型的区别代号，如表 0.4 所示。

表 0.4 专用汽车分类或变型车与基本型的区别代号

厢式汽车	罐式汽车	专用自卸汽车	特种结构汽车	起重举升汽车	仓栅式汽车
X	G	Z	T	J	C

尾部——企业自定义代号。同一种汽车结构略有变化而需要区别时（如汽油、柴油发动机，长、短轴距，单、双排座驾驶室，平、凸头驾驶室等），可用汉语拼音字母或阿拉伯数字表示，位数也由企业自定。

示例：

CA1092：一汽生产，总质量 9t，在原车型 CA1091 上改进的货车。

CA7226L：一汽生产，发动机排量 2.2 升，5 缸发动机，加长型轿车。

0.2.2 车辆识别代号（VIN）

1. 车辆识别代号（VIN）的意义和作用

根据国际标准《道路车辆—车辆识别代号—内容与组成》的规定，现在世界各国汽车公司生产的汽车大部分都使用了 VIN（Vehicle Identification Number）车辆识别代号编码。

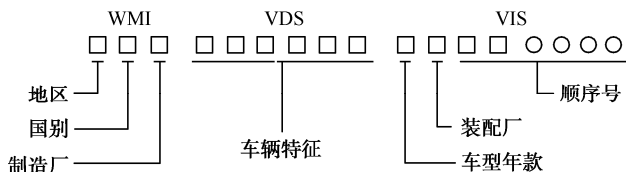


图 0.5 VIN 代号组成

VIN 车辆识别代号编码由一组字母（I、O、Q 除外）和阿拉伯数字组成，共 17 位，如图 0.5 所示。车辆识别代号经过排列组合，可以使车型生产在 30 年之内不会发生重号现象，它具有对车辆的唯一识别性，所以车辆识别代号称为“汽车身份证”。

注：□代表字母或数字；○代表数字。数字为 0~9 共 10 个阿拉伯数字，字母为 A~Z 共 23 个大写英文字母（字母 I、O、Q 不能使用）。

VIN 中的每位代码代表汽车的某一方面信息参数。按照识别代号编码顺序，从 VIN 中可以识别出该车的生产国家、制造公司或生产厂家、车的类型、品牌名称、车型系列、车身形式、发动机型号、车型年款、安全防护装置型号、检验数字、装配工厂名称和出厂顺序号码等，是识别一辆汽车不可缺少的工具。

VIN 车辆识别代号编码主要用于：车辆管理，车辆检测，车辆防盗，车辆维修，二手车交易，汽车召回，车辆保险；利用 VIN 还可鉴别出拼装车、走私车。

2. VIN 车辆识别代号编码各位字码的说明

(1) 第 1~3 位（WMI）：全球汽车制造商识别代号。

全球所有汽车制造厂都拥有一个或多个 WMI（世界制造厂识别代号），该代号由三位字符（字母或数字）组成，它包含如下信息：

第 1 位：表示地理区域，如非洲、亚洲、欧洲、大洋洲、北美洲和南美洲。

第 2 位：一个特定地区内的一个国家。由美国汽车工程师协会（SAE）负责分配国家代码。

第 3 位：某个特定的制造厂，由各国的授权机构负责分配。如果某制造厂的年产量少于 500 辆，其识别代码的第三个字码就是 9。

以下是几家国内汽车制造厂的 WMI 编号：

LSV——上海大众；LFV——一汽大众；LDC——神龙富康；LEN——北京吉普；LHG——广州本田；LHB——北汽福田；LKD——哈飞汽车；LS5——长安汽车；LSG——上海通用；LB3——吉利汽车。

(2) 第 4~8 位（VDS）：车辆特征代号。

轿车：种类、系列、车身类型、发动机类型及约束系统类型。

MPV：种类、系列、车身类型、发动机类型及车辆额定总重。

载货车：型号或种类、系列、底盘、驾驶室类型、发动机类型、制动系统及车辆额定总重。

客车：型号或种类、系列、车身类型、发动机类型及制动系统。

(3) 第 9 位：校验位代号。通过按特定的算法防止输入错误。校验位能提供校验 VIN 编码正确性的方式，在车辆的识别过程中起着极其重要的作用。通过检验校验位可以核定整个 VIN 编码是否正确。

(4) 第 10 位：车型年款代号。

厂家规定的车型年款代号 (Model Year) 不一定是实际生产的年份, 但一般与实际生产的年份之差不超过 1 年, 如表 0.5 所示。

表 0.5 车型年款代号

年份	代号	年份	代号	年份	代号	年份	代号
2001	1	2011	B	2021	M	2031	1
2002	2	2012	C	2022	N	2032	2
2003	3	2013	D	2023	P	2033	3
2004	4	2014	E	2024	R	2034	4
2005	5	2015	F	2025	S	2035	5
2006	6	2016	G	2026	T	2036	6
2007	7	2017	H	2027	V	2037	7
2008	8	2018	J	2028	W	2038	8
2009	9	2019	K	2029	X	2039	9
2010	A	2020	L	2030	Y	2040	A

(5) 第 11 位: 装配厂。

(6) 第 12~17 位: 顺序号。

3. 车辆识别代号标示

(1) 车辆识别代号标示的基本原则。

① 车辆识别代号应位于车辆的前半部分, 易于看到且能防止磨损或替换的部位。

② 小型车辆的识别代号应位于仪表板上, 在白天日光照射下, 观察者不需要移动任何部件从车外即可分辨出车辆识别代号。

③ 每辆车的识别代号应在车辆部件上 (玻璃除外), 该部件除修理外是不可拆卸的。

④ 车辆识别代号也可标在永久性地固定在车辆部件上的一块标牌上, 此标牌不损坏则不能拆卸。

⑤ 车辆识别代号的字码在任何情况下都应是字迹清楚、坚固耐久和不易替换的。

(2) 车辆识别代号标示的位置。根据车辆识别代号标示的基本原则, 车辆识别代号常标示在: 左风窗仪表盘上; 门柱上; 发动机、车架等大部件上; 左侧轮罩内; 转向柱上; 散热器支架上; 发动机前部的加工垫上; 质保和保养手册、车主手册上, 以方便获取车辆识别代号信息。

0.3 汽车修理预备知识

0.3.1 汽车零件的耗损形式

汽车在工作过程中, 其零件不可避免地要发生耗损, 耗损形式主要有: 磨损、腐蚀、疲劳和变形四类, 其中磨损是最主要的一种耗损形式, 大约有 80% 的零件是由于磨损而报废的。

1. 磨损

相互运动的零件, 其接触表面之间的摩擦会造成零件的磨损, 致使零件的尺寸、形状和表面质量发生变化, 配合特性变坏。

零件的磨损规律如图 0.6 所示, 大致分为三个阶段。

第一阶段是零件的磨合 (走合) 期, 如图 0.6 中 ok_1

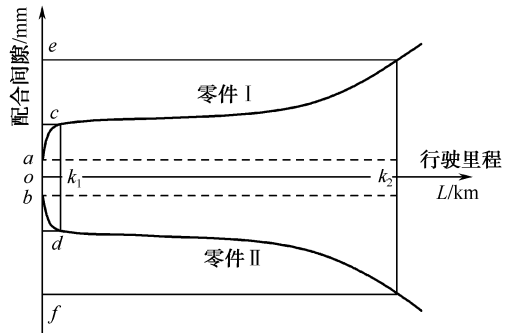


图 0.6 零件的磨损规律曲线

段所示，一般在新车运行 0 至 1000~1500km 期间。其特征是零件磨损较快，原因是新加工零件表面存在微观凹凸不平，产生了嵌合性磨损所致。零件的载荷越大、滑动速度越高和表面越粗糙，其磨损量也就越大。新的或大修竣工后的机器，其零件表面较粗糙，在磨合期间，应按磨合规定以较小的载荷和较低的速度运行。

第二阶段是零件的正常工作期，如图 0.6 中 k_1k_2 段所示。其特征是零件的磨损量随行驶里程的增加而增长，但增长很缓慢。

第三阶段是零件的加速磨损阶段，如图 0.6 中 k_2 点以后所示。其特征是零件的间隙已达到最大允许使用极限，零件的磨损量急剧增加（破坏性磨损）。此时机器应停止使用，及时送修。

保持良好的润滑和提高运动副中主要零件的表面硬度，可以减小摩擦和磨损，降低功率耗损，提高零件的使用寿命。

2. 腐蚀

金属零件表面常发生化学腐蚀和电化学腐蚀。其过程虽然是缓慢的，但对零件的正常工作和使用寿命都有很大的影响。所以，在金属表面一般都采用防腐措施，如镀铬、涂油、磷化、油漆等。

3. 疲劳

疲劳断裂是材料在交变载荷作用下产生的疲劳裂纹萌生和发展而导致断裂的一种破坏现象。如曲轴的裂纹与断裂、弹簧的折断、滚动轴承的表面裂纹或局部剥落（点蚀）等，多数是由于材料的疲劳引起的。

4. 变形

零件的变形形式主要有弯曲、扭曲、翘曲等。特别是基础零件如汽缸体的变形，会严重影响发动机有关零件的装配关系，降低发动机的修理质量和使用寿命。

零件的耗损失效是发动机需要修理的主要原因。在修理作业中，通常采用更换新的零部件，或修复其中的一些重要零件，恢复其配合特性和工作能力。

0.3.2 发动机的维护

同任何机器一样，汽车发动机在投入使用后，即投入了维护和修理过程。正确的使用、维护和修理是保证一台质量良好的发动机正常工作的前提。

1. 发动机的维护

发动机的维护是指为维持其良好技术状况和工作能力而进行的作业。发动机的维护包括三个方面。

(1) 维护的原则是预防为主、定期检测、强制维护。

(2) 维护的目的是保持整洁，及时发现并清除故障隐患，延长零件的使用寿命，防止早期损坏和运行中出现故障，保证安全行车。

(3) 发动机维护作业的内容是清洁、检查、补给、润滑、紧固和调整。

① 清洁：包括外部清洁，保持滤清器和水、油、气管道的清洁等。

② 检查：是维护作业的基础。其他的维护作业一般都要依靠检查作业的结果来进行。

③ 紧固：指的是检查并按规定力矩和顺序拧紧所有外露连接零件的螺栓和螺母。

④ 补给：指的是按需要添加燃料、润滑剂、冷却液等。

⑤ 润滑：指的是按要求更换发动机机油和给润滑点加注润滑剂。

⑥ 调整：指的是按规定对发动机各部位的可调节部分所进行的调整，如调整发动机怠速、点火正时、喷油正时、气门间隙和皮带的张紧度等。

2. 发动机维护作业类别

发动机维护作业可分为预防性维护和非预防性维护两大类，如图 0.7 所示。其中预防性维护是按事先规定的维护计划而进行的各种维护作业；非预防性维护指的是对于一些突发性故障所采取的事后

维护，所以非预防性维护也称为事后维护。

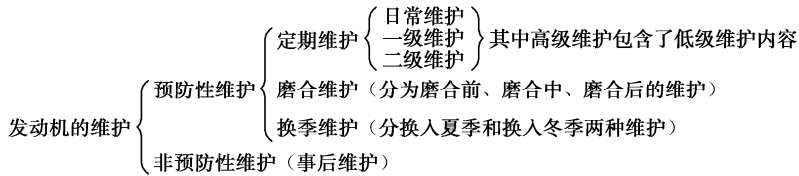


图 0.7 发动机维护作业的分类

3. 维护周期

发动机的维护周期是指进行同级维护的间隔期，一般以车辆行驶里程为依据，如解放 CA1092 的一级维护周期为 1500~2000km；二级维护周期为 6000~8000km。采用进口技术的国产汽车或进口汽车一般没有一级维护和二级维护的提法，如桑塔纳轿车只有 7500km 维护、15000km 维护、30000km 维护。每种维护的项目在有关资料中都有详细规定。其中高级维护包含了低级维护的全部项目。

0.3.3 发动机的修理

1. 发动机的修理工艺

发动机的修理级别一般分为小修和大修。小修一般指一两个局部的修理；大修指全面修理，其修理工艺过程最具代表性。发动机大修时进行的各种技术作业总称为发动机大修工艺。按一定的顺序和方法完成这些作业的过程称为发动机大修工艺过程。发动机大修工艺过程如图 0.8 所示。

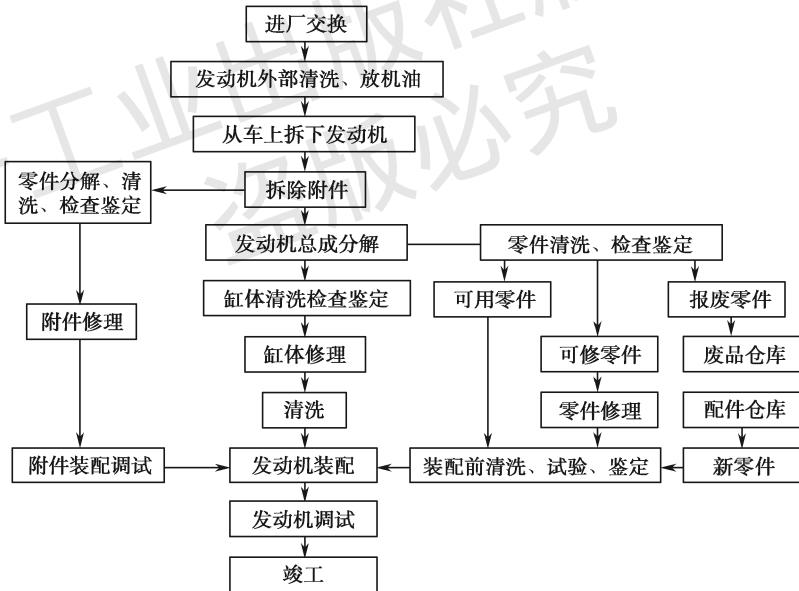


图 0.8 发动机大修工艺过程

2. 零件的拆卸原则

- (1) 在拆卸顺序上，应本着“先装的后拆，后装的先拆，能同时拆的就同时拆”的原则。
- (2) 在拆卸范围上，应本着“能不拆的就不拆，尽量避免大拆大卸”的原则。因为每拆装一次零件都会有所损耗，装配精度都会比原来低。
- (3) 在拆卸目的上，应本着“拆是为了装”的原则。因此，拆卸零件时，要特别留意观察和记录：零件的安装方向、装配记号、耗损状况，并做好零件的分类存放。

3. 零件的清洗方法

- (1) 清洗零件油污的方法有：有机溶剂（汽油、煤油、柴油、酒精等）清洗、碱溶液清洗和化学

合成水基金属清洗剂清洗。

(2) 清洗零件积炭的方法有：机械清除法和化学清除法。

(3) 清除零件水垢的方法有：酸洗法和碱洗法。

4. 汽车零件的机械加工修复

汽车零件的机械加工修复方法主要有修理尺寸法、附加零件（镶套）修复法。

(1) 修理尺寸法。配合零件中的主要件（如汽缸体、曲轴等结构复杂、价格较高的零件）磨损超限后，为了延长这些零件的使用寿命，将其磨损部位用机械加工的方法扩大（孔类零件）或缩小（轴类零件）至规定的尺寸（即修理尺寸），恢复其正确的几何形状和精度，然后更换相应的配合件（如活塞、轴瓦等），通过改变尺寸而达到配合性质不变的目的。

国家标准规定了相关配合零件的修理尺寸等级和级差，并以此指导有关零件的生产。例如，发动机的汽缸与活塞的修理尺寸，除车型自身有规定者外，汽油机为六级，柴油机为八级，级差为 0.25mm。汽缸直径按规定的修理尺寸等级镗大后，可买到同级加大直径的活塞配件。

用修理尺寸法镗孔和磨轴时，应以磨损较大的孔和轴为依据，以便确定加工余量，确保恢复配合精度。

为了防止各级修理尺寸的零件混淆，在配合零件的非加工面（如活塞顶部）上打印修理尺寸的级别或修理尺寸的代号、尺寸分组标记等。

使用修理尺寸法的要点是：

① 同组的孔或轴的修理尺寸要按磨损最大的孔或轴来选择。

② 同组的孔或轴的修理尺寸必须一致。

③ 加工时，应先加工磨损或变形最大的孔或轴。只要磨损或变形最大的孔或轴加工后能满足要求，其他孔或轴也能满足要求。

(2) 镶套修复法。发动机零件在使用中，有些零件只是局部磨损，特别是汽缸体、汽缸盖等造价较高的零件，因局部磨损而报废是很不经济的。因此，在制造这些零件时，把易磨损部位制成一个单独的套筒状零件，然后用过盈配合的方法镶入相应部位，如气门导管、气门座圈、汽缸套、飞轮齿圈等。当磨损部位磨损超限后，可用更换套筒件的方法修复。有些零件的不易磨损部位经长期使用磨损或变形后（如飞轮壳与变速器安装承孔）可以用扩孔后镶套的方法修复。

镶套过盈量应选择合理。过盈量太大，易使零件变形或挤裂；过盈量太小，又容易松动和脱落。

镶套时，包容零件受拉应力，被包容零件受压应力。当套的厚度不大于 2~3mm 时，应力大小与相对过盈量成正比。所谓相对过盈量，就是单位直径上的过盈量。如轴承承孔镶套，其过盈配合的公称直径为 100mm，当过盈量为 0.05mm 时，则相对过盈量为 $0.05\text{mm}/100\text{mm}=0.0005$ 。

根据相对过盈量的大小，镶套配合分为四级，即轻级、中级、重级和特重级。各级配合的特点和应用范围如表 0.6 所示。

表 0.6 镶套的过盈配合

级别	相对过盈量	配合代号	装配方式	特点	应用
轻级	0.0005 以下	$\frac{H6}{r5}, \frac{H7}{r6}$	压力机压入	传递力矩小，必要时另行紧固	转向节指轴镶后焊，变速器中间轴齿轮
中级	0.0005~0.001	$\frac{H7}{s6}, \frac{H7}{r6}, \frac{H8}{s6}$	压力机压入	能承受一定转矩及冲击，受力过大另行紧固	汽缸套、气门导管及主销衬孔套
重级	0.001	$\frac{H8}{s7}$	压力机压入	能承受很大的转矩和冲击力	飞轮齿圈、气门座圈
特重级	>0.001	$\frac{H7}{s6}$	温差压力装配法		

零件配合表面的加工精度和表面粗糙度直接影响镶套配合的过盈量。表面加工精度通常采用 IT6~IT8, 表面粗糙度 Ra 为 2.5~1.25 μm 。

镶套前应认真清洗零件, 测量配合面的尺寸及形状误差; 检查倒角和表面粗糙度。装配时, 应将表面清洗干净, 然后平稳压入, 切忌用锤直接砸入, 在压入过程中, 如套筒发生歪斜或装配压力急剧增大, 应立即中止压镶, 查明原因。

重级和特重级过盈配合件的装配宜采用温差装配法或温差压力装配法, 即将包容件加热至 423~473K 进行热配合, 或将被包容件用干冰、液氮等冷却收缩后再进行镶装。

0.3.4 故障诊断与检测技术

发动机部分或完全丧失工作能力的现象称为发动机故障。在不解体(或仅拆除个别小件)条件下, 通过检查、测试、分析、判断等一系列活动诊断、查明故障部位及原因的过程称为故障诊断与检测。

诊断技术主要是针对故障而言, 检测技术主要是针对使用性能和技术状况而言, 包括安全环保检测和综合性能检测等。

发动机诊断的基本方法有: 人工直观试探法和仪表检测法。

人工直观试探法是通过原地或道路试验, 靠观察或采用简单工具来判断发动机的技术状况和故障的方法。这种方法可用于初步诊断或仪表检测法的辅助诊断, 有一定的实用价值。特别是借助于高科技的“专家系统”, 可使人工直观试探法和仪表检测法理想地结合为一体。

仪表检测法是汽车诊断技术发展的方向。它采用专用仪器, 特别是微型机智能技术, 实现了快速、自动、准确地检测汽车、总成和机构的性能参数, 并进行自动分析、判断、存储和打印。

诊断参数分为额定值、允许值、极限值和当前值。额定值由其功能用途确定。允许值是参数的边界值, 一般有 2 个允许值。极限值是使用的限制值。当前值是诊断过程中测量获得的实际值。

诊断参数额定值、允许值和极限值的标准按其制定部门分为国家标准、制造厂推荐和维修企业标准。参数标准值的作用是为诊断提供一个比较基准, 将当前值和标准值相比, 就可以确定发动机或某一总成是否能够继续使用。

汽车诊断和检测技术自 20 世纪 80 年代开始成为国家重点推广的项目。国内外实行强制性车检制度的实践证明, 它不仅具有直接的经济效益, 而且具有不可估量的社会效益。汽车诊断与检测技术的发展前景广阔, 其发展趋势是: 诊断方式向智能化方向发展。

(1) 随车诊断技术将加速发展。利用车载微机对发动机、传动、制动、转向等系统进行自诊断并以故障代号的方式予以记忆和显示。

(2) 车外检测设备向智能化、多功能、易携带方向发展, 可以有效监控和预测汽车技术状况。

复习思考题

1. 简述汽车的定义, 汽车一般由哪些机构和系统组成? 简要说明各组成部分的作用。
2. 简述国产汽车的分类标准, 汽车识别代号。
3. 简要叙述汽车维护的作业分类及质量保证里程。
4. 简要叙述汽车大修的工艺流程。

第 1 章 发动机的基础知识

学习目标

- 熟悉发动机类型、总体结构及基本原理、基本术语。
- 了解发动机性能指标、产品型号，影响发动机工作性能的主要因素。
- 掌握汽车发动机型号编制规则、发动机工作原理。

1.1 发动机的总体构造及基本原理

1.1.1 概述

机器都必须由动力驱动，汽车的动力来源于发动机。

目前汽车所采用的发动机绝大多数是往复式活塞式内燃机，它将燃料燃烧的热能转变为机械能。发动机按其使用燃料和结构特征不同可分为：汽油、柴油及多燃料发动机；点燃式与压燃式发动机；单缸与多缸发动机；水冷式与风冷式发动机；四冲程与二冲程发动机；双气门与多气门发动机；顶置式气门与侧置式气门发动机；单排直列式与 V 形排列式发动机。

1.1.2 发动机的总体构造

汽车发动机的类型很多，其具体结构原理也不尽相同，但为完成发动机工作循环所需的基本构造则大同小异。汽油机通常由两大机构和五大系统组成，柴油机则由两大机构和四大系统组成。

以某四缸四冲程汽油机（图 1.1）为例，汽车发动机由以下机构组成：

(1) 曲柄连杆机构。它包括汽缸体、汽缸盖、活塞、连杆、曲轴和飞轮等，是发动机借以产生动力，并将活塞的往复直线运动转变为曲轴的旋转运动而输出动力的机构。

(2) 配气机构。它主要由进气门、排气门、凸轮轴、凸轮轴正时齿轮或时规链（带）等组成。其作用是将足量的新鲜空气充入汽缸并及时地从汽缸排除废气。

(3) 燃料供给系统。

电子控制汽油直接喷射式汽油机的燃料供给系统包括汽油箱，汽油泵，汽油滤清器，汽油压力调节器，喷油器，空气滤清器，空气流量计，水温、进气温度、曲轴位置、节气门开度、车速、爆震等传感器，电控单元（ECU），各种执行器，进排气歧管，排气消声器等。

传统柴油机燃料供给系统则由柴油箱、输油泵、柴油滤清器、喷油泵、喷油器、空气滤清器、进排气歧管、排气消声器等组成。

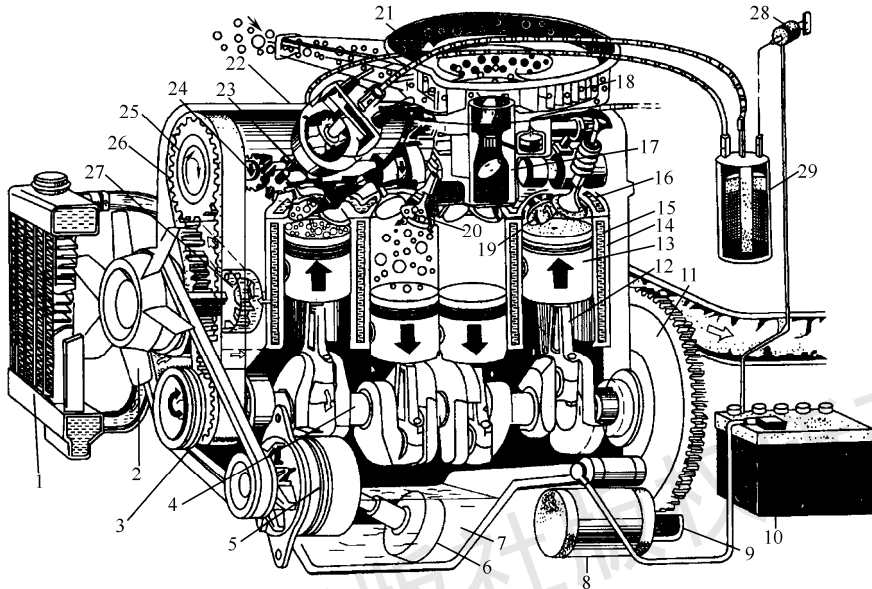
电控柴油机的燃料供给系统包括柴油箱，高压油泵，柴油滤清器，油压调节器，喷油器，空气滤清器，空气流量计，水温、进气温度、曲轴位置、节气门开度、车速、爆震等传感器，电控单元（ECU），各种执行器，进排气歧管，排气净化装置及排气消声器等。

(4) 润滑系统。发动机的润滑系统包括机油泵、集滤器、限压阀、润滑油道、机油滤清器、油底壳等。其作用是减小摩擦，降低机件磨损，并部分冷却摩擦零件，清洗摩擦表面。

(5) 冷却系统。发动机的冷却系统分为水冷式冷却系统和风冷式冷却系统两种。风冷式冷却系统主要由风扇、散热片等组成；水冷式冷却系统则包括散热器、风扇、水泵、节温器、水套等机件。其作用是将多余的热量散发到大气中，使发动机始终处于正常的工作温度。

(6) 点火系统。发动机的点火系统主要由电源、点火线圈、分电器和火花塞等组成。其作用是由压缩冲程接近结束时所产生的高压电火花点燃混合气。

(7) 起动系统。起动系统主要由起动机及附属装置组成，其作用是使静止的发动机起动并转入自行运转状态。



1—散热器；2—冷却风扇；3—曲轴正时齿轮；4—曲轴；5—发电机；6—机油滤清器；7—油底壳；8—起动机；
9—起动机齿轮；10—蓄电池；11—飞轮；12—连杆；13—活塞；14—汽缸体；15—水套；16—汽缸盖；17—化油器；
18—空气滤清器内芯；19—排气门；20—进气门；21—空气滤清器壳；22—分电器；23—火花塞；24—凸轮轴；
25—凸轮轴正时齿轮；26—凸轮轴正时齿带；27—水泵；28—点火开关；29—点火线圈

图 1.1 某四缸四冲程汽油机的构造图

1.1.3 发动机的常用术语

发动机的常用术语如图 1.2 所示。

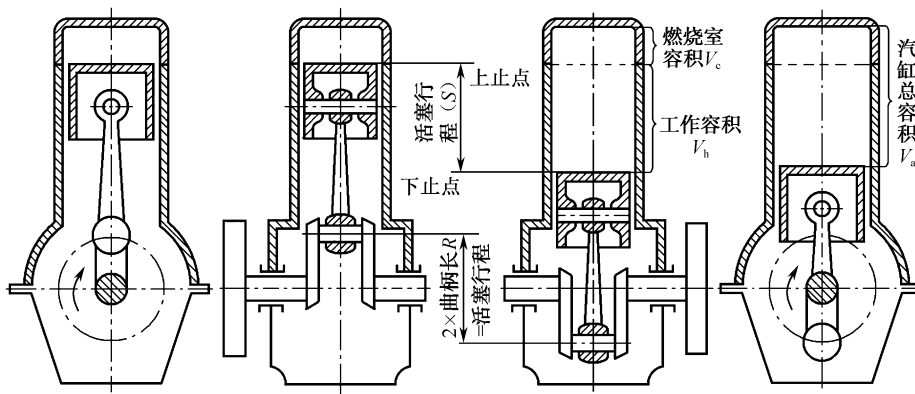


图 1.2 发动机的常用术语

1. 活塞行程与上、下止点

- (1) 上止点。活塞顶距离曲轴中心最远的位置称为上止点。
- (2) 下止点。活塞顶距离曲轴中心最近的位置称为下止点。

(3) 活塞行程。上、下止点间的距离称为活塞行程，用 S 表示，如图 1.2 所示。四冲程发动机的活塞每移动一个活塞行程，曲轴必旋转半周 (180°)。若曲柄长为 R ，则

$$S=2R$$

2. 汽缸容积

(1) 燃烧室容积 V_c 。活塞位于上止点时，活塞顶上方的空间称为燃烧室容积，用 V_c 表示。

(2) 工作容积 V_h 。活塞从上止点运动到下止点所扫过的容积称为汽缸的工作容积，用 V_h 表示 (单位为 L 或升)，即

$$V_h = \frac{\pi D^2}{4} S \times 10^{-6}$$

式中 D ——汽缸直径 (mm)；

S ——活塞行程 (mm)。

(3) 发动机工作容积。多缸发动机各缸工作容积的总和称为发动机工作容积或发动机排量，用 V_L 表示。若发动机的汽缸数为 i ，则

$$V_L = iV_h$$

(4) 汽缸总容积 V_a 。活塞位于下止点时，活塞上方的整个空间称为汽缸总容积，用 V_a 表示。汽缸总容积等于汽缸工作容积与燃烧室容积之和，即

$$V_a = V_h + V_c$$

3. 压缩比

汽缸总容积与燃烧室容积之比称为压缩比，用 ε 表示，即

$$\varepsilon = \frac{V_a}{V_c} = \frac{V_h + V_c}{V_c} = 1 + \frac{V_h}{V_c}$$

ε 表示活塞从下止点运动到上止点时，汽缸内气体被压缩的程度，也表示缸内气体膨胀时体积变化的倍数。各种不同类型发动机对压缩比的要求各不相同，一般柴油机的压缩比较高 ($\varepsilon=16\sim 22$)，汽油机压缩比则较低 (轿车用汽油机 $\varepsilon=9\sim 11$)。

1.1.4 单缸四冲程发动机的工作原理

发动机汽缸内每产生一次动力，都要经过进气、压缩、做功和排气四个工作过程。这四个工作过程称为发动机的一个工作循环。发动机的一个工作循环如果是在曲轴旋转两周 (720°)，活塞在汽缸内上、下运动四个活塞行程内完成的，则称为四冲程发动机。发动机的一个工作循环若在曲轴旋转一周 (360°)，活塞在汽缸内上、下运动两个活塞行程内完成的，则称为二冲程发动机。现代汽车大多采用四冲程发动机。

1. 单缸四冲程汽油机工作原理

图 1.3 所示为单缸四冲程汽油机的结构示意图，其工作过程如图 1.4 所示，如图 1.5 所示则为四冲程汽油机示功图。

(1) 进气冲程。进气冲程开始时，进气门打开，排气门关闭。曲轴旋转，通过连杆带动活塞由上止点向下止点运动，如图 1.4 (a) 所示；活塞顶部容积逐渐增大，汽缸内压力逐渐降低，产生真空吸力，将可燃混合气经进气管、进气门吸入汽缸。

当活塞运行到下止点时，曲轴转过半周 (180°)，进气门关闭，进气冲程结束。进气过程中汽缸内部压力 P 、汽缸容积 V 沿曲线 ra 变化，如图 1.5 (a) 所示。进气冲程结束时，汽缸内部压力略低于外界大气压力。

(2) 压缩冲程。压缩冲程如图 1.4 (b) 所示，进、排气门均保持关闭状态。活塞由下止点向上止点运动，汽缸内部容积减小、压力增大，可燃混合气被压缩，如图 1.5 (b) 中的曲线 ac 所示。当活塞到达上止点时，曲轴转过第二个半周 (即总共转过 360°)，压缩冲程结束。压缩冲程结束时，燃烧

室内的气体压力达到 $0.6\sim 1.5\text{MPa}$ ，温度达到 $600\sim 700\text{K}$ 。

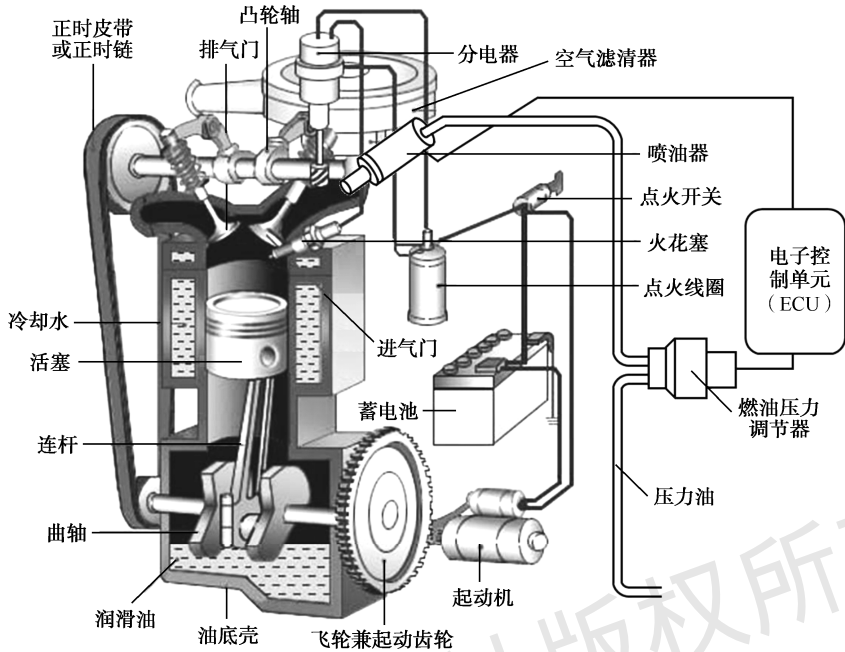


图 1.3 单缸四冲程汽油机的结构示意图

(3) 做功冲程。做功冲程如图 1.4 (c) 所示。压缩冲程接近终了时，点火系统通过火花塞产生高压电火花，点燃燃烧室内的可燃混合气（进、排气门仍保持关闭状态）。可燃混合气迅速燃烧，缸内气体温度、压力急速升高，如图 1.5 (c) 之 cz 曲线所示。在活塞到达上止点后缸内温度可达 $2200\sim 2800\text{K}$ ，压力达 $3\sim 5\text{MPa}$ 。

燃烧后的高温高压气体推动活塞迅速向下运动， PV 沿图 1.5 (c) 中的 zb 曲线变化，通过连杆使曲轴旋转，产生转矩做功，完成一次将热能转变为机械能的过程。

当活塞到达下止点时，曲轴转过第三个半圈（此时已经转过 540° ），做功冲程结束。做功冲程结束时，汽缸内的温度和压力分别降至 $1300\sim 1600\text{K}$ 和 $0.3\sim 0.5\text{MPa}$ 。

(4) 排气冲程。排气冲程如图 1.4 (d) 所示。在做功冲程接近完成时，排气门开启。汽缸内做功后的废气在残余压力作用下，大部分经排气门自行排出。活塞从下止点向上止点运动时，进一步将废气排出。活塞到达上止点，曲轴转过第四个半圈（总共转过 720° ）。排气冲程 PV 变化如图 1.5 (d) 所示。排气冲程结束，汽缸内的废气温度约为 $900\sim 1200\text{K}$ ，压力降至 $0.105\sim 0.115\text{MPa}$ 。

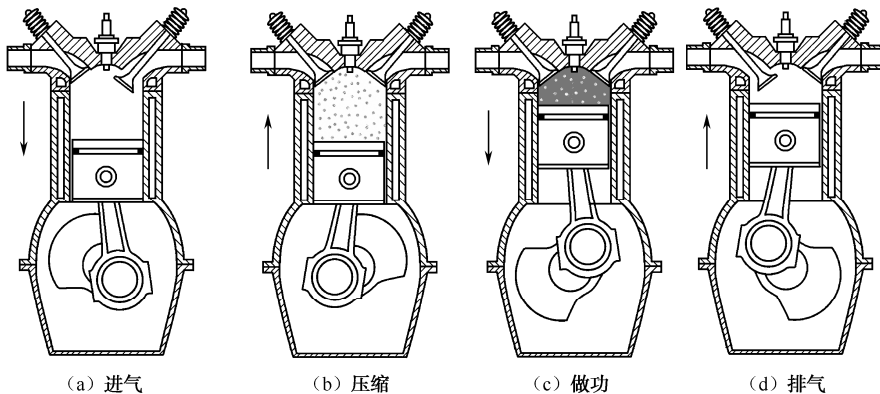


图 1.4 单缸四冲程汽油机的工作过程

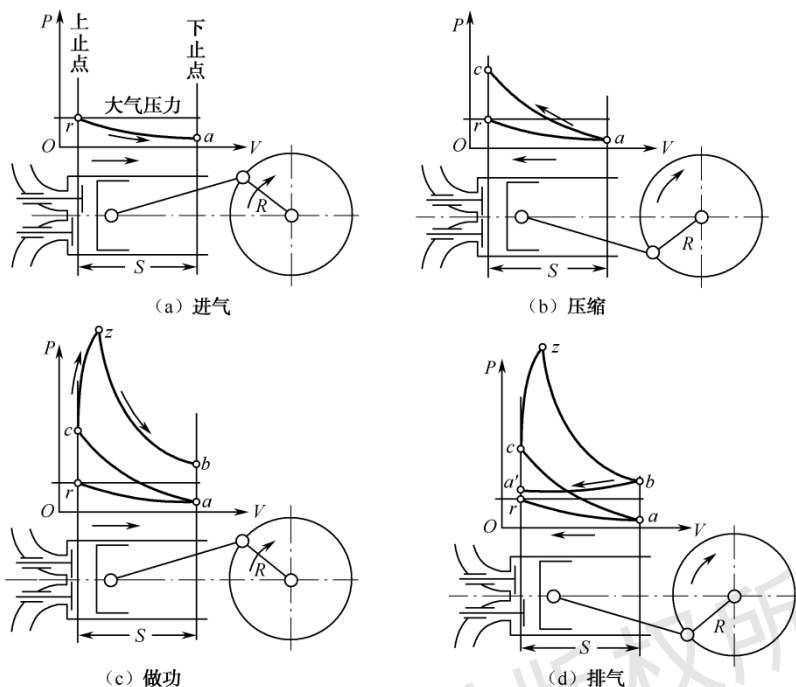


图 1.5 四冲程汽油机示功图

排气冲程结束，排气门关闭，进气门开启，活塞继续向下运动，又开始了下一个工作循环。如此重复，循环不已。

单缸四冲程汽油机工作时，曲轴转角、活塞运动、气门状态、汽缸内的温度和压力等情况如表 1.1 所示。

表 1.1 单缸四冲程汽油机的工作过程

曲轴转角/ $^{\circ}$	冲程	活塞运动	气门状态		汽缸内压力、温度	
			进气门	排气门	压力/MPa	温度/K
0~180	进气	向下	开启	关闭	进气结束: 0.08~0.90 (0.80~0.95)	进气结束: 370~440 (320~350)
180~360	压缩	向上	关闭	关闭	压缩结束: 0.6~1.5 (3~5)	压缩结束: 600~700 (800~1000)
360~540	做功	向下	关闭	关闭	最大压力: 3~5 (5~10) 做功结束: 0.3~0.5 (0.2~0.4)	最高温度: 2000~2800 (1800~2200) 做功结束: 1300~1600 (1200~1500)
540~720	排气	向上	关闭	开启	排气结束: 0.105~0.115 (0.105~0.125)	排气结束: 900~1200 (800~1000)

注：括号内的数字为柴油机对应冲程的压力与温度

2. 单缸四冲程柴油机的工作原理

单缸四冲程柴油机与汽油机一样，每个工作循环也要经历进气、压缩、做功和排气四个冲程。由于柴油的密度比汽油大，不易蒸发，自燃温度低，所以，可燃混合气的形成方式和着火方式与汽油机

不同。图 1.6 所示为单缸四冲程柴油机的结构示意图，其工作过程如图 1.7 所示，示功图与图 1.5 一致。

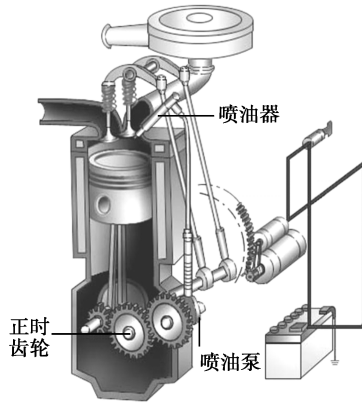


图 1.6 单缸四冲程柴油机的结构示意图

(1) 进气冲程。柴油机在进气冲程中，吸入汽缸的是新鲜空气，如图 1.7 (a) 所示。

(2) 压缩冲程。活塞由下止点向上止点运动时，汽缸内压缩的是纯空气，如图 1.7 (b) 所示。由于柴油机的压缩比较高，因而压缩冲程结束时，汽缸内气体的温度可达 $800\sim 1000\text{K}$ ，高于柴油的自燃温度（约 627K ）；压力为 $3\sim 5\text{MPa}$ 。

(3) 做功冲程。当压缩冲程接近完成时，喷油泵将高压柴油经喷油器呈雾状喷入燃烧室中，高压柴油与高温空气密切接触而迅速着火燃烧，使汽缸内气体温度、压力急剧升高。燃烧瞬时气体温度达 $1800\sim 2200\text{K}$ ，瞬时压力高达 $5\sim 10\text{MPa}$ 。此后一段时间内，柴油边喷边燃烧，高温高压气体推动活塞下行而做功，如图 1.7 (c) 所示。做功冲程结束时温度为 $1200\sim 1500\text{K}$ ，压力为 $0.2\sim 0.4\text{MPa}$ 。

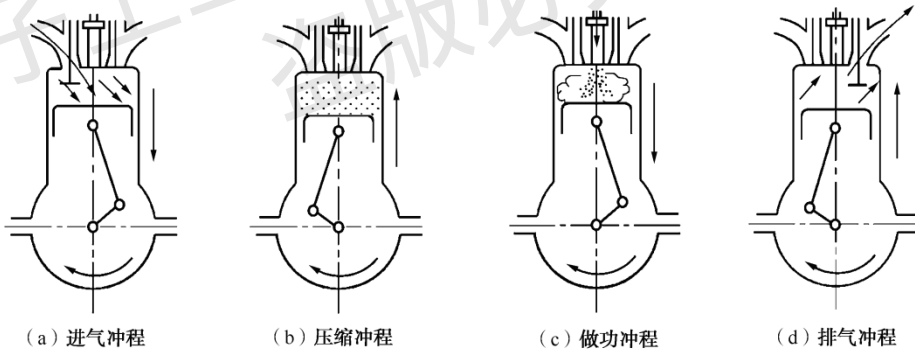


图 1.7 单缸四冲程柴油机的工作过程

(4) 排气冲程。柴油机的排气冲程与汽油机基本相同，如图 1.7 (d) 所示。排气冲程结束时汽缸内温度为 $800\sim 1000\text{K}$ ，压力为 $0.105\sim 0.125\text{MPa}$ 。

单缸四冲程柴油机工作时，曲轴转角、活塞运动、气门状态、汽缸内的温度与压力等情况如表 1.1 所示，括号内为柴油机对应冲程的压力、温度。

3. 单缸四冲程发动机的工作特点

(1) 发动机的一个工作循环内曲轴转两圈（即转过 720° ），每一个冲程曲轴转半圈（即转过 180° ），进气冲程时进气门开启，排气冲程时排气门开启，其余两个冲程进、排气门均关闭。

(2) 发动机运转的第一个循环，必须有外力使曲轴旋转完成进气、压缩冲程，完成做功冲程后，依靠曲轴和飞轮储存的能量便可自行完成以后的冲程，此后的工作循环发动机无需外力即可自行完成。

(3) 发动机在换气过程中若能做到进气充分、排气彻底,即可提高充气系数,增大发动机发出的功率。

(4) 单缸四冲程发动机只有做功冲程产生动力,其他三个冲程则消耗动力,但不可或缺地为做功冲程做准备。因此,单缸发动机的工作很不平稳,为了提高发动机转速的均匀性,一般在单缸发动机的曲轴上安装一个质量和尺寸均较大的飞轮,或采用多缸发动机。

对于多缸四冲程发动机,曲轴每转两圈过程中,所有汽缸都要完成一个工作循环,且各汽缸所有的工作循环完全相同,并严格按进气、压缩、做功、排气的次序进行。在结构上采用适当形式的曲轴,可以使各汽缸的做功冲程间隔角($720^\circ/i$)均匀,做功顺序相互交错,保证发动机运转平稳。例如,四缸发动机各缸做功冲程间隔角为 180° ($720^\circ/4$);八缸四冲程发动机各缸做功冲程间隔角为 90° ($720^\circ/8$)。缸数越多,各缸做功间隔角越小,发动机的工作越平稳。但缸数越多,结构越复杂,结构尺寸和整体质量均增加。现代汽车用得最多的是四缸、六缸和八缸发动机。

多缸发动机的工作顺序与曲轴的结构形式有关,这将在第2章中介绍。

4. 柴油机与汽油机的比较

(1) 汽油机的气体混合由汽油喷射系统在进气冲程中完成,汽油与空气先混合后燃烧;而柴油机的气体混合在汽缸的内部进行,而且是边喷射边燃烧,混合、燃烧没有明显界限。因此,汽油机和柴油机的燃料供给系统在结构原理上完全不同。

(2) 汽油机在压缩冲程结束时,靠火花塞强制点燃混合气,使其燃烧做功;而柴油机则利用压缩冲程结束时汽缸内部高温高压气体使柴油自行着火燃烧做功,因此柴油机没有点火系统。

(3) 柴油机压缩比比汽油机高,燃油平均消耗率比汽油机低,故燃料经济性好,尾气排放污染小;但柴油机转速比汽油机低、质量大、制造和维修费用高,故柴油机一般多用于大型汽车。

(4) 汽油机具有转速高、质量小、工作噪声小、起动容易、工作平稳、操作省力、适应性好、制造和维修费用低等特点,故在轿车和中、小、微型汽车上得以广泛应用。

随着柴油机轻量化、高速化,其应用范围正向着中、小、轻型汽车甚至轿车扩展。

1.1.5 二冲程发动机的工作原理

1. 二冲程汽油机的工作原理

所谓二冲程发动机,是指曲轴旋转一周,活塞在汽缸内上、下往返两个行程,即可完成发动机的进气、压缩、做功、排气四个冲程。二冲程汽油机的工作示意图如图1.8所示。在汽缸内壁上,活塞向下止点运行至三分之二处开始依次开有排气口、换气孔和进气口三个孔口,排气口最高,进气口最低。活塞顶做成斜的不对称的凸形,汽缸孔口和活塞顶的这种特殊结构,有利于二冲程发动机进气尽可能充分、排气尽可能彻底。

(1) 第一个冲程。曲轴旋转带动活塞由下止点向上止点运动,当活塞上行至关闭换气孔和排气口[图1.8(a)]时,已进入汽缸的可燃混合气开始被压缩,直到活塞到达上止点,压缩过程结束。

活塞上行时,其下方曲轴箱内形成一定真空,当活塞上行至进气口开启时,燃料供给系统供给的可燃混合气在曲轴箱真空吸力作用下进入曲轴箱,如图1.8(b)所示。

(2) 第二个冲程。活塞上行接近上止点[图1.8(c)]时,火花塞产生电火花,点燃可燃混合气,燃烧后形成的高温、高压气体推动活塞由上止点向下止点运动做功。当活塞下行到关闭进气口后,活塞下方曲轴箱内的可燃混合气被预压。

活塞继续下行至活塞顶打开排气口[图1.8(d)]时,部分燃烧后的废气在膨胀做功残余压力作用下经排气口排出,紧接着换气孔开启,曲轴箱内经预压的可燃混合气经换气孔进入汽缸,并扫除汽缸内的残余废气,这一过程称为换气过程,一直延续到下一个冲程活塞再次关闭换气孔和排气口为止。

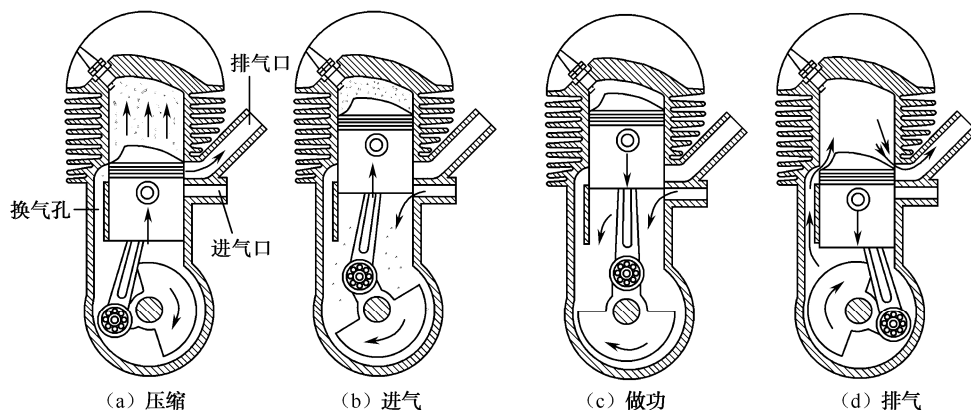


图 1.8 二冲程汽油机的工作示意图

由二冲程汽油机工作过程可知：第一个冲程中活塞上方进行换气、压缩工作，活塞下方进行进气工作；第二个冲程中活塞上方进行做功、换气工作，活塞下方进行预压缩工作。换气过程跨越两个冲程。

2. 二冲程柴油机的工作原理

图 1.9 所示为带有换气泵的二冲程柴油机工作示意图，新鲜空气经换气泵提高压力（0.12~0.14MPa）后经汽缸外部的空气室和汽缸壁上的进气孔进入汽缸内，废气则由专门的排气门排出，此过程与二冲程汽油机有很多相近之处，主要区别是：换气过程由换气泵辅助完成，吸入汽缸的是纯空气。

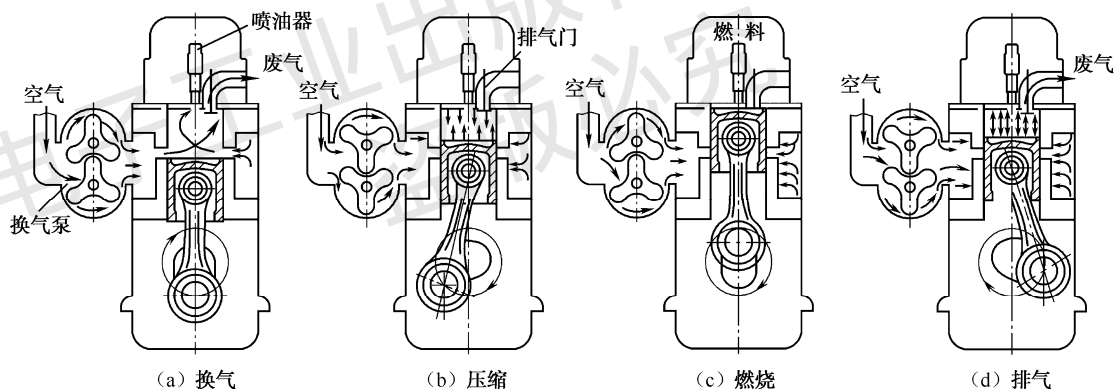


图 1.9 带换气泵的二冲程柴油机工作示意图

(1) 第一个冲程。曲轴旋转，活塞从下止点向上止点运动。行程开始前，进气孔和排气门均开启，由换气泵提高空气的压力，高压空气进入汽缸进行换气，如图 1.9 (a) 所示。当活塞上行至进气孔、排气门关闭时，开始压缩，如图 1.9 (b) 所示。当活塞接近上止点时，高压柴油经喷油器以极细雾状喷入汽缸自行着火燃烧 [图 1.9 (c)]。

(2) 第二个冲程。活塞到达上止点，着火燃烧的高温高压气体推动活塞向下运动对外输出动力，当活塞下行到三分之二行程时，排气门开启，将做功后的废气在残余压力作用下排出汽缸外，如图 1.9 (d) 所示。此时进气孔开启，进入换气过程。

由二冲程发动机工作过程不难看出，二冲程发动机具有以下明显特点。

① 二冲程发动机没有气门或只有排气门，从而省去了配气机构或使配气机构更为简单，简化了发动机结构，具有重量轻、制造成本低的特点。

② 其做功次数是四冲程发动机的两倍，理论上在汽缸工作容积、压缩比、转速相同的情况下，

二冲程发动机的功率是四冲程发动机的两倍，实际上由于换气过程有窜气损失，气体膨胀做功不充分，其功率只有四冲程发动机的 1.5~1.6 倍。

③ 在转速相同的情况下，二冲程发动机的做功次数比四冲程发动机多出一倍，因此单缸二冲程发动机比单缸四冲程发动机运转更平稳。

二冲程发动机在换气过程中要带走部分可燃混合气，经济性比较差，排气污染严重；但因结构简单、重量轻，在小排量摩托车、移动机具的动力机上应用较多。二冲程柴油机的换气过程没有燃料损失，多用于对动力机要求功率大、重量轻的轮船上。

1.2 发动机基本参数

1.2.1 发动机型号

根据国标《内燃机产品名称和型号编制规则》的规定：内燃机产品名称按所采用的燃料命名，内燃机型号用一组阿拉伯数字和汉语拼音或国际通用的英文缩略字母表示，由以下四部分组成，如图 1.10 所示。

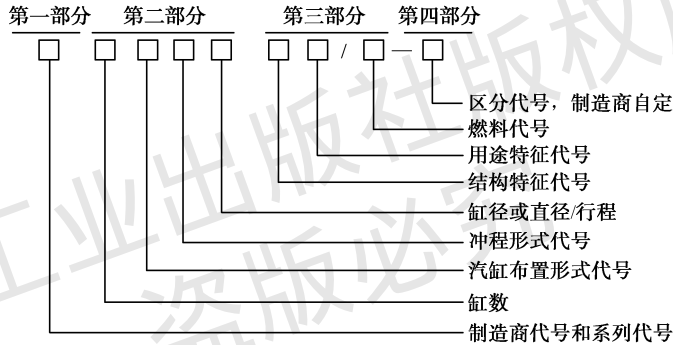


图 1.10 内燃机型号组成

第一部分：由制造商代号和系列代号组成，由制造商根据需要选择 1~3 位字母表示。

第二部分：由缸数、汽缸布置形式代号、冲程形式代号、缸径符号组成。

(1) 缸数用 1~2 位数字表示。

(2) 汽缸布置形式代号应符合表 1.2 规定。

表 1.2 汽缸布置形式代号

代号	含义
无	多缸直列或单缸
V	V 形
P	卧式
H	H 形
X	X 形
其他布置形式的代号见 GB/T 1888.1	

(3) 冲程形式为四冲程时代号省略，二冲程用 E 表示。

(4) 缸径符号一般用缸径或直径/行程数字表示，亦可用发动机排量或功率数表示，其单位由制造商自定义。

第三部分：由结构特征代号、用途特征号组成，其代号分别符合表 1.3 与表 1.4 规定。燃料代号参照表 1.5。

表 1.3 结构特征代号

代号	含义
无	冷却液冷却
F	风冷
N	凝气冷却
S	十字头
Z	增压
ZL	增压中冷
DZ	可倒转

表 1.4 用途特征代号

代号	含义
无	通用型及固定动力（或制造商自定）
T	拖拉机
M	摩托车
G	工程机械
J	铁路机车
D	发电机组
C	船用主机、右机基本型
CZ	船用主机、左机基本型
Y	农用三轮车（或其他农用车）
L	林业机械

注：内燃机的左机和右机的定义按 GB/T 726 的规定

表 1.5 燃料代号

代号	含义	备注
无	柴油	
P	汽油	
T	天然气（煤层气）	管道天然气
CNG	压缩天然气	
LNG	液化天然气	
LPG	液化石油气	
Z	沼气	各类工业沼气（农业有机废弃物、工业有机废弃物、城市污水处理、城市有机垃圾）允许用 1~3 个字母的形式表示，如“ZN”表示农业有机废弃物产生的沼气
W	煤矿瓦斯	浓度不同的瓦斯允许用 1 个小写字母的形式表示，如 Wd 表示低浓度瓦斯
M	煤气	各类工业煤气如焦炉煤气、高炉煤气等。允许在 M 后加 1 个字母区分煤气的类型
S	柴油/天然气双燃料	
SCZ	柴油/沼气双燃料	
M	甲醇	
E	乙醇	
DME	二甲醇	
FME	生物柴油	

注 1：一般用 1~3 个拼音字母表示燃料，也可用成熟的英文缩写字母表示；
 2：其他燃料允许制造商用 1~3 个字母表示

第四部分：区分代号，制造商自定。

型号如下。

柴油机型号：

G12V190ZLD——通用型、12缸、V形、四冲程、缸径190mm、冷却液冷却、增压中冷、发电用。

R175A——单缸、四冲程、缸径75mm、冷却液冷却（R—系列代号；A—区分代号）。

YZ6102Q——扬州产、6缸、直列、四冲程、缸径102mm、冷却液冷却、车用。

8E150C-1——8缸、直列、二冲程、缸径150mm、冷却液冷却、船用主机、右机基本型、第二代产品。

JC12V26/32ZLC——济南柴油机股份有限公司生产，12缸、V形、四冲程、缸径260mm、行程320mm、冷却液冷却、增压中冷、船用主机、右机基本型。

G8300/380ZDZC——通用系列、8缸、直列、四冲程、缸径300mm、行程380mm、冷却液冷却、增压可倒转、船用主机、右机基本型。

汽油机型号：

1E65F/P——单缸、二冲程、缸径65mm、风冷、通用型。

EQ6100-1/P——东风汽车工业公司生产，六缸、直列、四冲程、缸径100mm、冷却液冷却、通用型、第一种类型产品。

1.2.2 发动机的性能指标

发动机的性能指标可分为四大类：指示性能指标、有效性能指标、环境性能指标和强化性能指标，根据具体表现也可分为发动机的动力性、经济性、运转性和耐久可靠性指标等。

1. 发动机的指示性能指标

指示性能指标用以评定发动机实际循环情况的优劣。其中，平均指示压力、指示功率评定工作循环的动力性；指示热效率、指示燃料消耗率评定工作循环的经济性。

图1.11所示示功图反映工质压力 P 随汽缸工作容积 V （或曲轴转角 φ ）变化的关系。 P - V 曲线包容的面积表示工质完成一个实际循环所做的有用功。 P - φ 图称为展开示功图。

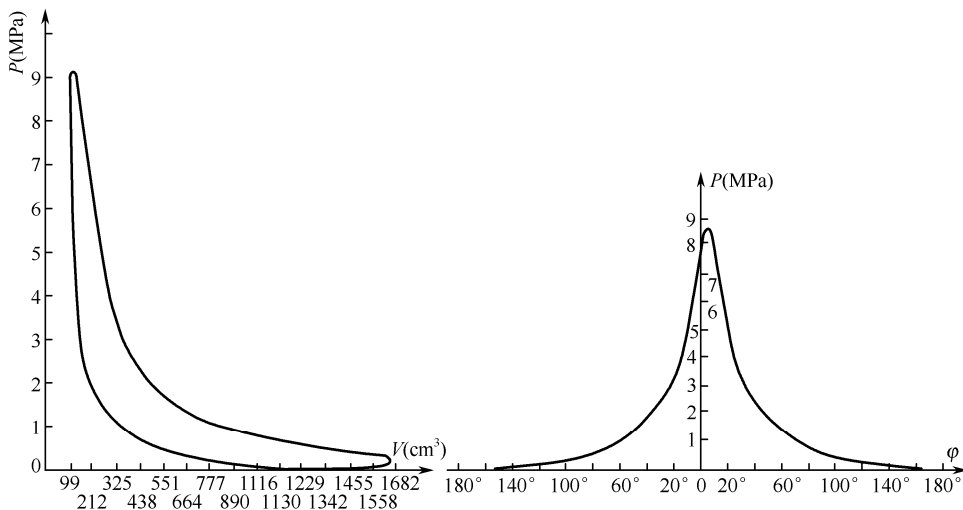


图 1.11 某单缸四冲程柴油机 P - V 图及 P - φ 图（试验）

(1) 指示功 W_i 和平均指示压力 p_i 。

① 指示功。指示功指一个实际循环工质对活塞所做的有用功。用 W_i (kJ) 表示，它可根据实测示功图通过计算求得，即

$$W_i = abA \quad (\text{kJ})$$

式中 a ——示功图纵坐标的比例尺 (kPa/cm)；

b ——示功图横坐标的比例尺 (L/cm)；

A ——示功图面积 (cm^2)。

因为不同发动机具有不同的工作容积，不能仅用指示功 W_i 评价工作循环的好坏，还必须采用工作影响指标（平均指示压力 p_i ），对发动机的工作循环进行评价。

② 平均指示压力。平均指示压力是指指示功 W_i 与汽缸工作容积 V_h 之比，即

$$p_i = \frac{W_i}{V_h} \quad (\text{kPa})$$

显然，平均指示压力 p_i 越大，汽缸工作容积的利用程度越高，发动机工作循环越优，设活塞面积为 A (cm^2)，活塞行程为 S (cm)，从前式得出

$$W_i = p_i AS \times 10^{-3} \quad (\text{kJ})$$

如图 1.12 所示， p_i 的一般范围是：汽油机 0.8MPa~1.5MPa；柴油机 0.7MPa~1.1MPa；增压柴油机 1MPa~2.5MPa。

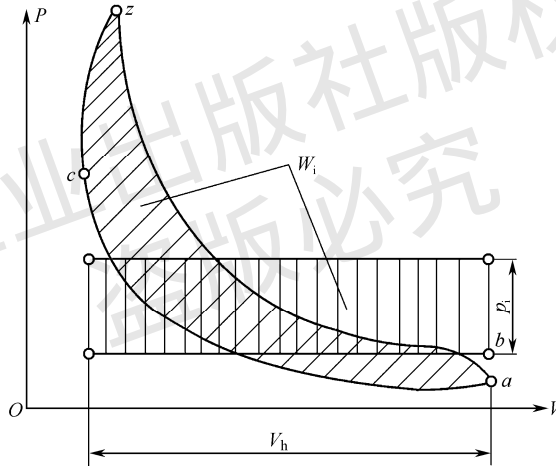


图 1.12 指示功与平均指示压力

(2) 指示功率 N_i 。指示功率 N_i 是指发动机单位时间（每秒）内所做的指示功。设平均指示压力为 p_i (kPa)；单缸工作容积为 V_h (L)；缸数为 i ；转速为 n (r/min)；冲程数为 τ ，则

$$N_i = \frac{ip_i V_h n}{30\tau} \times 10^{-3} \quad (\text{kW})$$

(3) 指示燃油消耗率 g_i 。指示燃油消耗率 g_i 是指单位指示功所消耗的燃油量。如测得发动机每小时燃油消耗量为 G_T (kg/h)，指示功率为 N_i (kW)，则指示燃油消耗率为

$$g_i = \frac{G_T}{N_i} \times 10^3 \quad [\text{g}/(\text{kW} \cdot \text{h})]$$

g_i 的大致范围是：柴油机为 170~200g/(kW·h)；汽油机为 230~340g/(kW·h)。

(4) 指示热效率 η_i 。指示热效率 (η_i) 是指发动机实际循环指示功与所消耗燃料的热量之比值，即

$$\eta_i = \frac{W_i}{Q_i} = \frac{3.6}{g_i h_u} \times 10^6$$

式中 Q_i ——所消耗燃料的热量 (kJ)；

h_u ——燃料的低热值 (kJ/kg)。

η_i 的大致范围是：柴油机为 $\eta_i=0.4\sim 0.5$ ；汽油机为 $\eta_i=0.25\sim 0.4$ 。

2. 发动机的有效性能指标

发动机有效性能指标是以曲轴输出功率为基础的指标,用以评价发动机的设计与制造水平及其整机性能。有效性能指标分为动力性指标和经济性指标。

1) 动力性指标

(1) 有效功率 N_e 。指示功率 N_i 不可能完全输出,即在传递过程中不可避免产生如下机械损失。

① 内部运动机件的摩擦损失,占总机械损失的 60%~70%,如活塞及活塞环与汽缸壁、轴承与轴颈、配气机构中的摩擦损失等。

② 驱动附属机构的损失,占总机械损失的 10%~20%,如驱动冷却水泵、机油泵、喷油泵、风扇、电动机和点火装置的损失等。

③ 进、排气过程所消耗的功率,占总机械损失的 10%~20%。

上述损失导致的功率消耗称为机械损失功率 N_m 。指示功率与机械损失功率之差称为有效功率 N_e (kW),该数据可由试验测得。

(2) 有效转矩 M_e 。发动机工作时,由功率输出轴输出的转矩称为有效转矩 M_e (N·m)。它与有效功率的关系是

$$M_e \approx 9550 \frac{N_e}{n} \quad (\text{N} \cdot \text{m})$$
$$N_e = \frac{2\pi n M_e}{60 \times 10^3} \approx \frac{M_e n}{9550} \approx 0.1047 \cdot n \times 10^{-3} \quad (\text{kW})$$

(3) 平均有效压力 p_e 。发动机汽缸单位工作容积输出的有效功,称为平均有效压力 p_e (kPa)。有效功率与平均有效压力之间有下列关系

$$N_e = \frac{i p_e V_h n}{30\tau} \times 10^{-3} \quad (\text{kW}) \quad \text{或} \quad p_e = \frac{30\tau N_e}{i V_h n} \times 10^{+3} = \frac{3.14 M_e \times \tau}{1000 V_h i} \quad (\text{kPa})$$

对于排量 (iV_h) 一定的发动机, p_e 正比于 M_e , p_e 值越大,则汽缸单位工作容积输出功越大,输出转矩越大。 p_e 值是发动机重要的动力指标之一。

p_e 的一般范围是:汽油机 0.7MPa~1.3MPa;柴油机 0.6MPa~1.0MPa;增压柴油机 0.9MPa~2.2MPa。

(4) 转速 n 和活塞平均速度 C_m 。设计时,提高发动机转速,即可增加单位时间的做功次数,从而使发动机体积小、重量轻和功率大。转速 n 增加,活塞平均速度 $C_m = \frac{S}{30}$ 随之增加。

C_m 增大,则活塞组的热负荷和曲柄连杆机构的惯性力均增大,磨损加剧,寿命下降,以致 C_m 已成为表征发动机强化程度的参数。一般汽油机 C_m 不超过 18m/s;柴油机不超过 13m/s。

为了提高转速又不使 C_m 过大,可以减小活塞行程 S ,即采用较小的行程缸径比 (S/D)。但 S/D 值减小也会造成燃烧室高度减小,其表面积与容积比 (A/V) 值增大,混合气形成条件变差,不利于燃烧。 n 、 C_m 、 S/D 值的大致范围如表 1.6 所示。

表 1.6 n 、 C_m 、 S/D 值的大致范围

机型	n (r/min)	C_m (m/s)	S/D
小客车汽油机	5000~8000	12~18	0.7~1.0
载货车汽油机	3600~4500	1~15	0.8~1.2
汽车柴油机	2000~5000	9~15	0.7~1.2
增压柴油机	1500~4000	8~12	0.9~1.3

2) 经济性指标

(1) 有效热效率 η_e 。有效热效率是指循环的有效功与所消耗燃料的热量之比，即

$$\eta_e = \frac{W_e}{Q_i} = \frac{W_i}{Q_i} = \eta_i \eta_m \text{ 或 } \eta_m = \frac{3.6}{g_e h_u} \times 10^6$$

式中 $\eta_m = \frac{N_e}{N_i} = \frac{p_e}{p_i} = 1 - \frac{N_m}{N_i}$ ——机械效率；

Q_i ——获得有效功所消耗燃料的热量；

g_e ——有效燃料消耗率。

发动机台架试验时，可采用单缸熄火法、拖动法、示功法等方法测定 η_m ， η_m 值越接近 1，表明发动机性能越好。

参照 N_i 与 p_i 的关系，可导出平均机械损失压力

$$p_m = \frac{30 N_m \tau}{V_h \cdot n \cdot i} \quad (\text{kPa})$$

p_m 值的一般范围是：汽油机 0.15MPa~0.25MPa；柴油机 0.2MPa~0.3MPa。

现代发动机机械效率 η_m 一般范围如表 1.7 所示。

表 1.7 现代发动机机械效率 η_m 一般范围

机型	η_m	机型	η_m
非增压四冲程柴油机	0.75~0.80	增压二冲程柴油机	0.75~0.90
增压四冲程柴油机	0.80~0.92	四冲程汽油机	0.70~0.85
非增压二冲程柴油机	0.70~0.80		

(2) 有效燃油消耗率 g_e 。有效燃油消耗率是指单位有效功所消耗燃油的量，即

$$g_e = \frac{G_T}{N_e} \times 10^3 \quad [\text{g}/(\text{kW} \cdot \text{h})]$$

η_e 和 g_e 的大致范围如表 1.8 所示。

表 1.8 η_e 和 g_e 的大致范围

机型	η_e	g_e [g/(kW·h)]
汽油机	0.25~0.3	270~325
柴油机	0.3~0.45	190~285

3. 强化性能指标

(1) 升功率 N_L 。升功率是指发动机每升工作容积产生的有效功率，即

$$N_L = \frac{p_e}{i V_h} = \frac{p_e V_h i \cdot n}{30 i V_h \tau} = \frac{p_e n}{30 \tau} \quad (\text{kW/L})$$

N_L 与 $p_e n$ 乘积成正比，即提高平均有效压力和转速，可提高升功率，提高发动机强化程度。

(2) 比重量 G_e 。发动机比重量是指其净重 G 与标定工况有效功率之比

$$G_e = \frac{G}{N_e} \quad (\text{kg/kW})$$

它表征发动机结构重量利用程度及结构紧凑性。

当发动机净重一定时，有效功率越大，比重量越小，则其强化程度越高。 N_L 与 G_e 的大致范围如表 1.9 所示。

(3) 强化系数。发动机强化系数用平均有效压力与活塞平均速度的乘积表示。该系数越大，则发动

机强化程度越高，即机械负荷和热负荷越高。 $p_e \cdot C_m$ 的大致范围是：汽油机 8~17MPa·m/s；小型高速柴油机 6~11MPa·m/s；重型汽车柴油机 9~15MPa·m/s。

表 1.9 N_L 与 G_e 的大致范围

机型	N_L (kW/L)	G_e (kg/kW)
汽油机	30~70	1.1~4.0
汽车柴油机	18~30	2.5~9.0
拖拉机柴油机	9~15	5.5~1.6

综上所述，发动机的有效性能指标主要有： p_e 、 n 、 C_m 、 S/D 、 g_e 、 η_e 、 N_L 、 G_e 、 $(p_e \cdot C_m)$ 等，如表 1.10 所示。

表 1.10 发动机的主要有效性能指标

	p_e (kPa)	n (r/min)	C_m (m/s)	S/D	g_e [g/ (kW·h)]	η_e	N_L (kW/L)	G_e (kg/kW)	$p_e \cdot C_m$
汽油机	650~ 1200	3600~6000	10~15	0.7~1.2	270~325	0.25~0.3	22~55	1.5~4.0	80~140
柴油机	600~950	2000~4000	8.5~12.5	0.75~1.2	241~285	0.3~0.4	18~30	4.0~9.0	60~99

4. 环境性能指标

发动机除要求具有良好的动力性、经济性和较高的强化程度外，还必须具有良好的排气清净性、较低噪声度、较小振动和可靠的低温起动性。

(1) 排放污染。发动机排放污染是指排出废气中的有害成分，主要有尾气中一氧化碳、碳氢化合物、氮氧化合物、二氧化硫、铅化合物、臭味气体、固体微粒，以及从曲轴箱通风孔泄漏出的碳氢化合物和从汽油箱逸出的燃油蒸气等。这些有害排放物主要生成于燃烧过程中，应从混合气形成、燃烧和排气方式上设法加以控制。

为了保护环境，保障人体健康，发动机在工作机理和结构设计上应尽量使有害排放物减少，对废气加以净化处理。我国于 2005 年 4 月 27 日公布，自 2010 年 7 月 1 日起实施的中国轻型汽车第 IV 号排放标准中部分内容如表 1.11 和表 1.12 所示。

表 1.11 IV 型试验的排放限值

试验温度 266K (-7°C)				
类别	级别	基准质量 (RM) /kg	CO ₂ , L ₄ (g/km)	HC, L ₂ (g/km)
第一类车	—	全部	15	1.8
第二类车	I	RM ≤ 1305	15	1.8
	II	1305 < RM ≤ 1760	24	2.7
	III	1760 < RM	30	3.2

(2) 噪声污染。发动机工作时产生的噪声刺激神经，使人心情烦躁、反应迟钝、甚至导致耳聋、高血压和神经系统疾病。噪声主要源于进排气门、风扇和增压器等的气体动力噪声、汽缸内燃烧噪声、机体内的机械噪声（如活塞敲击、配气机构运行、齿轮运转）等。国际标准组织（ISO）提出了保护环境和保护听力的噪声标准，现代发动机噪声已大大超过了允许的值。为此，我国拟定了机动车辆允许噪声、中小功率柴油机噪声限值和噪声测试方法的标准。

表 1.12 轻型汽车国 II 与国 III、国 IV 排放标准 I 型试验排放限值对比

阶段			类别	级别	基准质量 (RM) (kg)	限值 (g/km)								
						一氧化碳 (CO)		碳氢化合物 (HC)		氮氧化物 (NO _x)		碳氢化合物和氮 氧化物 (HC+NO _x)		颗粒物 (PM)
						L ₁		L ₂		L ₃		L ₍₂₊₃₎		L ₄
						汽油	柴油	汽油	柴油	汽油	柴油	汽油	柴油	柴油
II	第一类车	—	全部	2.2	1.0	—	—	—	—	0.50	0.7/0.9	0.08/0.10		
II	第二类车	I	RM≤1250	2.2	1.0	—	—	—	—	0.50	0.7/0.9	0.08/0.10		
		II	1250<RM≤1700	4.0	1.25	—	—	—	—	0.6	1.0/1.3	0.12/0.14		
		III	RM>1700	5.0	1.5	—	—	—	—	0.7	1.2/1.6	0.17/0.20		
III	第一类车	—	全部	2.3	0.64	0.20	—	0.15	0.50	—	0.56	0.50		
	第二类车	I	RM≤1250	2.3	0.64	0.20	—	0.15	0.50	—	0.56	0.50		
		II	1250<RM≤1700	4.7	0.80	0.25	—	0.18	0.65	—	0.72	0.070		
		III	RM>1700	5.22	0.95	0.29	—	0.21	0.78	—	0.86	0.100		
IV	第一类车	—	全部	1.00	0.50	0.10	—	0.08	0.25	—	0.30	0.025		
	第二类车	I	RM≤1250	1.00	0.50	0.10	—	0.08	0.25	—	0.30	0.025		
		II	1250<RM≤1700	1.81	0.63	0.13	—	0.10	0.33	—	0.39	0.04		
		III	RM>1700	2.27	0.74	0.16	—	0.11	0.39	—	0.46	0.06		

注：第一类车指包括驾驶员座位在内，座位数不超过六座，且最大总质量不超过 2500kg 的 M 类汽车；第二类车是指除第一类车以外的其他所有轻型汽车。

I 型试验是指常温下冷启动后排气污染物排放试验；II 型试验即双怠速试验，测定双怠速的 CO、碳氢化合物和高怠速的 λ 值（过量空气系数）；III 型试验指曲轴箱污染物排放试验；IV 型试验指低温下 266K（-7℃）冷启动后排气中 CO 和碳氢化合物排放试验；V 型试验即污染控制装置耐久性试验（试验里程 8 万公里）；VI 型试验即蒸发污染物排放试验

(3) 起动性能。发动机在一定温度下应能可靠起动，且起动迅速，起动消耗的功率小、磨损少。起动性能的好坏直接影响车辆机动性、操作者的安全和劳动强度。我国相关标准规定，不采用特殊的低温起动措施，汽油机在-10℃、柴油机在-5℃以下的环境条件下应起动顺利，且 15s 以内能自行运转。

5. 发动机的可靠性与耐久性

发动机的可靠性与耐用性用以衡量其在持续的负荷运转中，工作性能的可靠程度与耐久程度。

可靠性是指发动机在规定条件下和规定时间内完成规定功能的能力。一般以发生故障前的工作时间、故障间隔时间、无故障工作概率等指标评定。我国汽车行业对于载货汽车发动机的可靠性评定已有单项指标和综合指标。单项指标包括平均首次故障时间、平均故障间隔时间、当量故障率和使用有效度。综合指标为单项指标加权计算后得出的可靠性水平评定分数。

耐久性是指发动机在规定的使用和维修条件下，达到某种技术或经济指标极限时完成规定功能的能力。耐久性常指发动机的使用寿命或大修寿命。对于耐久性的评定，设计部门可以按各主要零件的试件在试验中的磨损来确定各主要零件乃至整机的耐久性指标；使用部门可以按整机达到极限状态前的工作小时数或车辆行驶里程数来评定。

可靠性和耐久性受诸多因素的影响,如所用材质、加工方法、装配调试、驾驶技术,以及负荷特点、气候因素等。即使同一型号发动机,可靠性和耐久性也会有相当大差别。当然发动机的可靠性与耐久性也与其结构组成和工作机理有关。

发动机工作时,各系统及有关机件将承受不同机械负荷与热负荷。机械负荷包括由于气体压力、冲击力、惯性力引起的应力和振动、预紧、摩擦等引起的附加应力,使发动机零部件分别受到拉伸、压缩、弯曲、扭转等或它们复合成的各种负荷引起的变形。热负荷过大可使某些零件温度过高而失去工作能力,如零件烧伤、变形导致配合间隙破坏,材料强度、硬度下降而加速磨损,润滑油变质结胶而使机件润滑条件恶化、摩擦磨损加剧等;热负荷过大还使某些零件温差过大导致内部热应力过大,如缸盖底面和活塞顶部变形和裂纹等。同时,某些结构还会发生化学蚀损,如汽缸内壁上部因高温废气而发生蚀损,湿式缸套外壁因电化学作用而出现穴蚀,高压油路、冷却水路、曲轴轴瓦等结构也可能出现穴蚀。

发动机在正常运转、满负荷作业和正确的技术维护下,机械负荷、热负荷和化学蚀损将在允许限度以内,可靠性和耐久性将合乎规律地自然缓慢下降。如果处在“敲缸”、超负荷、过热、“飞车”等不正常情况下长期作业,发动机将承受不应有的静负荷、动负荷、热负荷,加速化学蚀损,可靠性和耐久性急剧下降。

6. 发动机的热平衡

发动机燃料的热能只有一部分转化为有效机械能,其余部分通过各种途径而损失。一般情况下,发动机热平衡方程式可以表述为

$$Q = Q_c + Q_r + Q_w + Q_s$$

式中 Q ——进入发动机的燃料产生的热量,如 Q_f 代表发动机每小时的耗油量, H_u 代表燃料低热值 (kJ/kg), 则 $Q = Q_f H_u$

Q_c ——相当于有效功的热量, $Q_c = 3.6N_e$

Q_r ——随废气排出的热量,相当于废气内能与新鲜充量内能之差,不包括燃料不完全燃烧的热损失。如 C'_p 和 C_{p1} 分别代表废气和新鲜充量的平均定压比热, T'_0 代表进气管入口处新鲜充量的温度, T_r 代表废气在靠近排气门处的温度, M_1 表示每小时排出的废气量, M_2 表示每小时消耗的空气量, 则

$$Q_r = (M_2 + G_f) C'_p T_r - (M_1 + G_f) C_{p1} T'_0$$

Q_w ——传递给冷却介质的热量,如 G 代表冷却水的循环量, C 代表冷却水的比热, t_2 和 t_1 分别代表出水口和进水口处的水温, 则 $Q_w = GC(t_2 - t_1)$

Q_s ——其余热损失,包括燃料不完全燃烧的热损失,即相当于燃料完全燃烧应该放出的热量与燃料在燃烧过程中实际放出的热量之差;还包括驱动辅助机构和附属装置的能量消耗、废气热量损失和机体辐射热损失等。

显然,热平衡随发动机负荷、转速、供油或点火提前角等工况参数和调整参数的改变有所不同。

为了估计热平衡方程式中各项相对值,同时便于比较不同发动机热平衡情况,常以百分数来表示热平衡方程式,即

$$q_c + q_r + q_w + q_s = 100\%$$

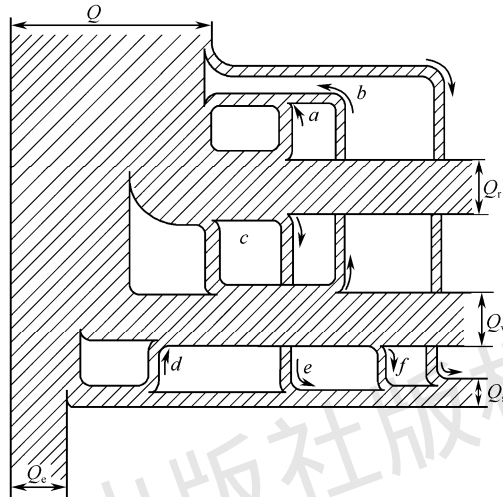
式中 $q_c = \frac{Q_c}{Q} \times 100\%$; $q_r = \frac{Q_r}{Q} \times 100\%$; $q_w = \frac{Q_w}{Q} \times 100\%$; $q_s = \frac{Q_s}{Q} \times 100\%$ 。

一般高速四冲程发动机热平衡的百分数大约如表 1.13 所示。

关于发动机的热平衡,还可用热流图来表示其中各项的大小与相互关系,如图 1.13 所示。

表 1.13 高速四冲程发动机的热平衡百分数

热平衡各项组成	汽油机 (%)	柴油机 (%)	增压柴油机 (%)
q_e	20~30	30~40	35~45
q_r	40~45	35~40	25~40
q_w	25~30	20~25	10~25
q_s	5	5	2~5



a —从废气回收的热量； b —从汽缸壁回收的热量； c —废气传给冷却水的热量；
 d —摩擦生热传给冷却水的部分热量； e —排气系统散出的热量； f —冷却系统散出的热量

图 1.13 发动机的热流图

1.2.3 影响发动机工作性能的主要因素

发动机的工作是一个非常复杂的过程，影响其工作性能的因素很多，各因素之间存在着错综复杂的关系。

1. 影响发动机动力性与经济性的主要因素

对发动机工作性能影响较大的实际因素可以从以下几个方面来分析：

(1) 增压度。在保持过量空气系数 α 等几个参数不变的条件下，如果采用增压技术，提高空气密度 ρ_s ，可以使 N_e 成比例地增长。

(2) 换气质量。换气充分是每循环中充分发挥工作性能的基础。换气完善程度由 η_v 来衡量，尽量提高此系数有利于发动机的工作。对汽油机，充进汽缸的燃油量与 η_v 成比例，所以换气应尽量充分， η_v 值高，有利于提高 N_e ；对柴油机，充进汽缸的空气量越多，能够完全燃烧的循环供油量 Δg 也才能越多， Δg 与 η_v 存在着比例关系。所以要求换气充分，就是要求提高 η_v 。

(3) 对指示效率产生实际影响的因素，包括压缩比的高低，燃烧是否及时完全和热损失的多少等。

压缩比的高低对汽油机产生的影响尤其显著，提高压缩比可以改善热量的循环利用（膨胀比加大）、减少热损失（燃烧室散热面积减小），从而提高 η_i ；并允许汽油机部分负荷时采用稀混合气，可更好工作。当然也应考虑到提高压缩比对燃料辛烷值要求提高，并使发动机热负荷和机械负荷增大的不利方面。

燃烧是否及时完全，这是每循环发挥工作性能的关键。 η_i 表现了实际循环的效率，在特定的发动机上，它主要受燃烧完善程度的影响。发动机燃烧完善程度主要从完全、及时、柔和、无烟、低排污

等几方面来加以衡量。燃烧越完善，在 z 点的热利用系数越高，平均指示压力也就越大，这是研究燃烧过程所努力追求的目标。但由于种种因素的影响，发动机燃烧过程往往难以达到理想完善的程度。对柴油机而言，燃烧完善程度主要与换气质量、压缩终点的温度、最大喷油压力、燃油雾化质量，以及燃油束与燃烧室内空气运动的配合等因素有关；对汽油机而言，燃烧完善程度主要与空燃比、混合气形成质量、点火提前等因素有关。

总体而言，如果采用尽量小的 α 达到尽量高的 η_i ，就可以增加汽缸单位工作容积的做功量，提高其动力性和经济性。

(4) 尽量减少机械损失。机械损失越少，意味着燃料热能转换为有效机械功越多，冷却系统和润滑系统传递的热量和消耗功率也越少，机件传递的热流和相应的磨损也会减少。负荷增大时，某些摩擦副间将出现边界润滑，甚至出现接触性的干摩擦。减少摩擦损失应从改善接触条件、强化表面性能、改进润滑油性能、保持最佳热状态、改善运转时的零件磨合等方面入手。为了减少机械损失，还应该优化进排气系统结构和尺寸，通过减少进排气阻力来减少换气损失，在高速车用发动机上，换气损失可能高达机械损失的20%。采用直接喷射式燃烧室比采用开式燃烧室更能减少汽缸内的节流损失。

2. 影响机械损失及机械效率的主要因素

(1) 增压。当发动机采用排气涡轮增压时， N_i 与增压度增加成正比地增加，此时汽缸中最大爆压虽有增加，但采取降低压缩比等措施后， p_z 增加的幅度将低于 N_i 增加的幅度，致使机械损失减少；当采用机械增压时，机械损失的减少与否，将视增压比的高低由泵气功与压气机耗功的和而定。此外，增压后，润滑油温度的提高，会使润滑油黏性阻力降低，并且燃烧较为柔和，有利于减轻轴承上的冲击负荷等。综上所述，若发动机转速不变，则机械损失功率将与非增压时大致相当。由于 N_i 值提高，所以涡轮增压及低压比的机械增压将使 η_m 提高。

(2) 曲轴转速及活塞速度。曲轴转速及活塞速度的提高将使活塞摩擦损失及轴承摩擦损失迅速增加。同样，非增压发动机的泵气损失、辅助机械损失、二冲程发动机的扫气泵驱动功率均随转速及活塞速度的提高而增加。虽然转速增加后，每循环相对损失的热量较少，润滑油黏性阻力有所降低，但综合影响仍将使机械损失功率 N_m 或 p_m 大大增加。

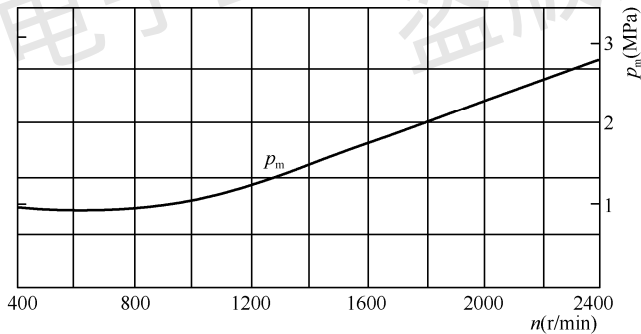


图 1.14 平均机械损失压力 p_m 与转速 n 的关系曲线

图 1.14 所示为一部 6 缸非增压高速柴油机平均机械损失压力 p_m 随转速 n 迅速增加。图 1.15 所示为同一柴油机机械效率 η_m 随转速增加而下降，图中实线表示全负荷工况，虚线表示 30% 的部分负荷工况，显而易见，负荷低时的 η_m 比全负荷时下降更显著。

6 缸柴油机：汽缸总排量为 8L（升）， $\varepsilon=16:1$ ，转速范围为 600~2400r/min。

(3) 负荷。虽然负荷增加， p_z 也随之加大，但机械损失也会增大，而且在高负荷时 p_z 增加的幅度应比低负荷时小；在涡轮增压发动机中，为控制 p_z ，一般采取降低压缩比的措施，使机械损失压力不致增加过大。同时，负荷增加，润滑油温度提高，其黏性阻力下降，因此负荷大小对 p_m 的影响不会太大。负荷增大必然增加供油量，从而使 p_i 成正比地增加，机械效率 η_m 也随之提高。

(4) 润滑油温度及冷却水温度。润滑油温度和冷却水温度对发动机机械损失功率 N_m 有较大的影响。润滑油因温度升高而黏度下降，黏性阻力减小，机械损失 N_m 或 p_m 也减小。润滑油温度取决于冷却水温度，水温高则油温高，所以提高水温会使 N_m 或 p_m 下降。

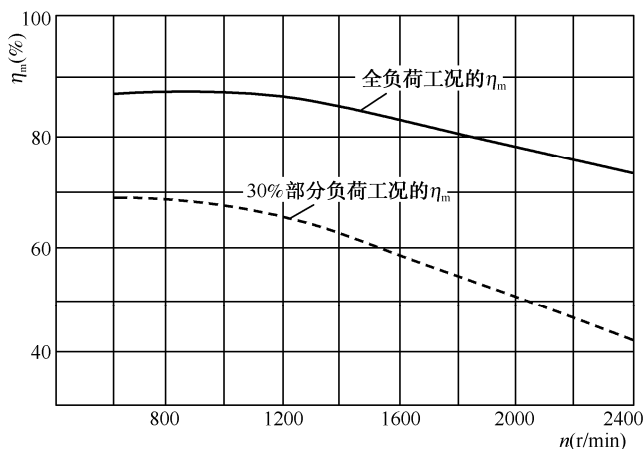


图 1.15 机械效率 η_m 与转速 n 的关系曲线

冷车起动时，水温和油温皆低，故 N_m 大；热车稳定状态时，则 N_m 小。因而相关标准对柴油机正常运转时的水温和油温都进行了明确规定，以保证 N_m 不致过大。图 1.16 所示为 N_m 与油温的关系曲线， N_m 随着油温增加而降低，并到达一个最低点，当超过这一温度后， N_m 又将逐渐增加。 N_m 最小时，油温略大于润滑油容许温度。图 1.17 所示为 N_m 随冷却水温的变化曲线，显然 N_m 随着水温上升而下降。

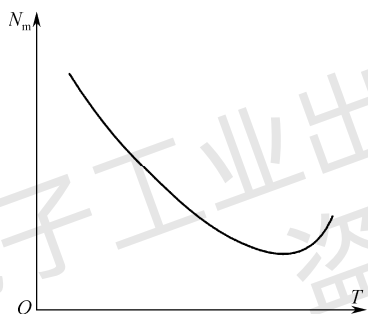


图 1.16 机械损失功率 N_m 随油温变化曲线

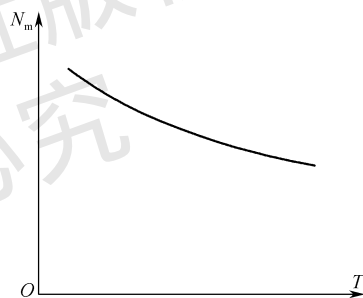


图 1.17 机械损失功率 N_m 随水温变化曲线

(5) 汽缸尺寸及数目。若运动速度不变，作用于摩擦表面的正压力不变，机械损失中的摩擦损失功率则与摩擦面积的大小有关，指示功率则与汽缸工作容积有关。即 p_z 、 C_m 保持不变的前提下，若缸径加大或者行程加长，则汽缸面积与容积比相对减小， N_i 增加的幅度大于 N_m ， η_m 相对提高。

当汽缸尺寸和 n 都相同时，多缸发动机的 η_m 比单缸发动机大，这是由于单缸发动机带动辅助机械所需的功率相对偏大，机械损失功率相对增加。

(6) 工艺水平。汽缸套内壁、轴颈、轴承等摩擦表面加工精度对机械损失功率有较大影响，表面加工精度越高，机械效率越高。

实训 汽车发动机的总体观察及发动机工作循环研究

1. 实训目的与要求

- (1) 了解汽车的基本组成、主要技术特性、各大部件的连接关系及动力传递路线。
- (2) 了解活塞往复直线运动与曲轴旋转运动之间的关系。
- (3) 了解汽油机与柴油机在结构和工作原理上的区别。
- (4) 掌握内燃机主要组成系统和机构的名称、功用、安装部位及相互间的关系。

(5) 掌握四冲程/二冲程汽油机/柴油机的工作原理和工作过程。

2. 仪器、设备

(1) 一般载重汽车、轿车。

(2) 单缸、多缸内燃机，解剖四冲程/二冲程单缸/多缸汽油机/柴油机。

(3) 内燃机工作原理挂图及示教板。

(4) 常用工具。

3. 方法与步骤

(1) 观察汽车的总体构造。

① 汽车形式的认识。观察、初步认识现代汽车的主要类型：轿车、客车、货车、牵引车、特种车、工矿自卸车和越野车等。

② 对汽车基本组成的认识和观察。观察及初步认识汽车的四大基本组成及功用。

a. 发动机。它是能量转换、产生动力的装置，分为汽油机、柴油机及石油液化气机等类型，由曲柄连杆机构、配气机构、燃料供给系统、冷却系统、润滑系统、起动系和点火系统（汽油机）组成。

b. 底盘。它用于接受动力使汽车运动，并保证汽车的正常行驶。它由传动、行驶、转向和制动系统等组成。

c. 电气设备。它是汽车的起动、点火、照明、信号装置，由电源和用电设备组成。现代汽车越来越多地装用各种电子控制、微处理及人工智能系统。

d. 车身。它用于安置驾驶员、乘客或货物。除轿车、客车一般是整体车身外，货车车身由驾驶室和货厢组成。

③ 对照实物，理解汽车主要技术参数。汽车除装用不同类型和特性的发动机外，还用性能参数、结构参数、使用参数及符号表示主要技术特性。对照汽车，能够确认结构参数的位置以及理解各参数的内容与含义。

(2) 观察内燃机的一般构造并研究其工作过程。

① 利用解剖的发动机和完整的发动机，观察、初步认识汽油机、柴油机外部装置、内部机件的名称、位置、相互关系及构造特点，摇转曲轴，借以了解各零件的相互关系、运动规律和特点。

② 利用解剖发动机或模型，摇转曲轴，观察上止点、下止点、活塞行程、曲柄半径、工作容积、燃烧室容积及汽缸总容积、活塞所处位置，理解发动机各术语的含义。

③ 利用解剖发动机或模型，摇转曲轴，观察发动机在进气、压缩、做功和排气四个冲程中，曲轴旋转的角度（圈数），气门开和关的次数与状况，活塞、曲拐的位置及运动情况，点火系统或喷油器的工作情况，进而研究四冲程汽油机/柴油机的工作原理和工作过程。

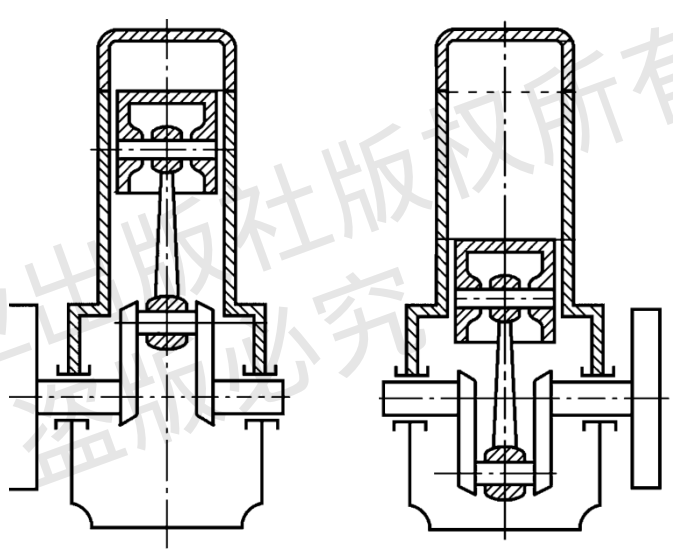
④ 利用解剖的发动机或模型，摇转曲轴，观察、研究在二冲程发动机工作过程中，曲轴旋转的角度、活塞位置的变化及换气形式与方法，掌握二冲程发动机的工作原理。清楚四冲程发动机与二冲程发动机的区别。

⑤ 对照实物，仔细观察，从结构和工作原理上，比较和区分汽油机和柴油机的异同。

⑥ 根据陈列的发动机，从汽缸数量、排列方式、所用燃料及冷却方式等情况，认识发动机的类型及功率、缸径、压缩比、转速等主要技术数据。

4. 实训工单

实训项目	汽车发动机的总体观察及发动机工作循环研究
一、准备工作	
	情况记录
(1) 工量具及仪器设备准备	
(2) 维修手册准备	

二、操作过程	
观察汽车总体结构	<p>1. 汽车的型号为_____，类别为_____。其发动机型号为_____，排量为_____，最大功率为_____，最大输出扭矩为_____。采用_____速_____（手动、自动、手自一体）变速器。外形尺寸为_____。</p> <p>2. 汽车的VIN为_____，生产日期为_____。</p> <p>3. 汽车由_____、_____、_____和_____四部分组成。</p>
观察发动机的工作过程	<p>1. 四冲程发动机由_____、_____、_____和_____四个冲程组成。每个冲程曲轴转过_____度。</p> <p>2. 四缸发动机，当第一缸活塞处于上止点时，第四缸的活塞处于_____位置。</p> <p>3. 发动机曲轴旋转两圈时，其凸轮轴旋转了_____圈。</p> <p>4. 汽油机与柴油机相比较，汽油机多了一个_____系统。</p>
发动机专业术语认知	<p>在下图中标注发动机上止点、下止点、活塞行程、燃烧室容积、曲柄半径、活塞直径和汽缸直径。</p> 
三、实训体会：	

复习思考题

1. 什么是发动机？什么是内燃机？发动机是如何分类的？
2. 发动机一般由哪些机构和系统组成？简要说明各组成部分的作用。
3. 何谓四冲程和二冲程发动机？简要说明其工作循环。
4. 列表对比说明柴油机、汽油机在进气、压缩、做功和排气四个冲程中的主要差异。
5. 何谓发动机的指示性能指标、有效性能指标及标定性能指标？
6. 简要叙述影响发动机工作性能的主要因素。