

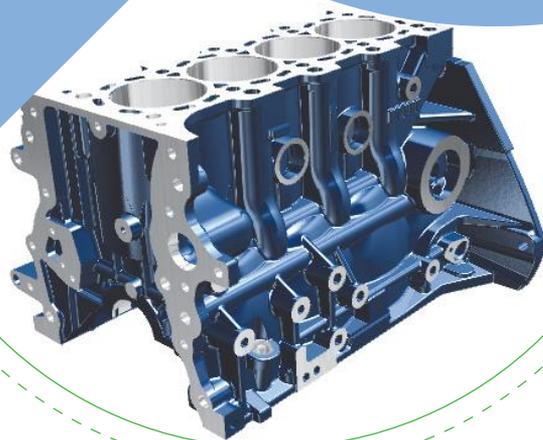
职业教育汽车专业系列丛书
“互联网+”新形态一体化教材

汽车发动机 构造与维修

升级版

(AR增强现实版&微课版)

主编◎柳 礼 金媛媛 吴良芹



航空工业出版社

内 容 提 要

本书在编写过程中遵循教育部“以就业为导向，以服务为宗旨，以能力为本位”的职业教育方针。在本书的编写过程中，围绕不同的工作任务对传统的学科型汽车专业教学内容进行重新整合，力图把专业知识与具体工作任务和职业能力培养结合起来，使学生在过程中能够有效地把理论和实践相结合。本书图文并茂，通俗易懂，可操作性强，通过组图演示主要部件的拆装和维修操作，读者可举一反三，运用到其他类似的车型上。同时，为了打造“互联网+”新型教材，本教材在传统纸质教材的基础上，加入数字化教学资源，顺应了新形态一体化教材的建设趋势，为使用本教材的师生、读者提供更多实践指导。

图书在版编目 (CIP) 数据

汽车发动机构造与维修 / 柳礼, 金媛媛, 吴良芹主编. — 北京: 航空工业出版社, 2020.8 (2025.7 重印)
ISBN 978-7-5165-2332-2

I. ①汽… II. ①柳… ②金… ③吴… III. ①汽车 - 发动机 - 构造 - 高等职业教育 - 教材 ②汽车 - 发动机 - 车辆修理 - 高等职业教育 - 教材 IV. ① U472.43

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2020) 第 149545 号

汽车发动机构造与维修 Qiche Fadongji Gouzaoyu Weixiu

航空工业出版社出版发行

(北京市朝阳区京顺路 5 号曙光大厦 C 座四层 100028)

发行部电话: 010-85672666 010-85672683 读者服务热线: 010-85672635

中煤 (北京) 印务有限公司印刷

全国各地新华书店经售

2020 年 8 月第 1 版

2025 年 7 月第 4 次印刷

开本: 787×1092 1/16

字数: 383 千字

印张: 19.5

定价: 52.00 元



Preface

本书在编写过程中遵循教育部“以就业为导向，以服务为宗旨，以能力为本位”的职业教育方针。

在本书的编写过程中，围绕不同的工作任务对传统的学科型汽车专业教学内容进行重新整合，力图把专业知识与具体工作任务和职业能力培养结合起来，使学生在在学习过程中能够有效地把理论和实践相结合。

本书共分为八个项目。项目一为发动机认知，主要介绍汽车发动机的分类与组成、工作原理、主要性能指标与型号编制；项目二为曲柄连杆机构，主要介绍曲柄连杆机构的功用与组成，机体组、活塞连杆组、曲柄飞轮组的结构、工作原理及检修；项目三为配气机构，主要介绍配气机构的功用与组成，气门组、气门传动组、配气相位的结构、工作原理及检修；项目四为发动机润滑系统，主要介绍润滑系统的功用与组成，润滑系统主要部件的结构、工作原理及检修；项目五为发动机冷却系统，主要介绍冷却系统的功用与组成，冷却系统主要部件的结构、工作原理及检修；项目六为发动机起动系统，主要介绍起动系统的功用与组成，起动系统主要部件的结构、工作原理及检修；项目七为发动机点火系统，主要介绍点火系统的功用与组成，点火系统主要部件的结构、工作原理及检修；项目八为发动机燃油供给系统，主要介绍燃油供给系统的功用与组成，燃油供给系统主要部件的结构、工作原理及检修。

全书参考总学时为 72 学时，建议采用理实一体化的教学模式进行授课。各项目的学时分配表如下，仅供参考。

| 项目 | 课程内容 | 学时分配 | |
|------|-----------|------|----|
| | | 讲授 | 实训 |
| 项目一 | 发动机认知 | 2 | 2 |
| 项目二 | 曲柄连杆机构 | 8 | 8 |
| 项目三 | 配气机构 | 8 | 8 |
| 项目四 | 发动机润滑系统 | 4 | 4 |
| 项目五 | 发动机冷却系统 | 4 | 4 |
| 项目六 | 发动机起动系统 | 4 | 4 |
| 项目七 | 发动机点火系统 | 2 | 2 |
| 项目八 | 发动机燃油供给系统 | 4 | 4 |
| 课时总计 | | 36 | 36 |

本书图文并茂,通俗易懂,可操作性强,通过组图演示主要部件的拆装和维修操作,读者可举一反三,运用到其他类似的车型上。同时,为了打造“互联网+”新型教材,本教材在传统纸质教材的基础上,加入数字化教学资源,顺应了新形态一体化教材的建设趋势,为使用本教材的师生、读者提供更多实践指导。

本书可以作为高等院校的汽车专业教材,还可以作为汽车培训及中专技校的参考教材,对广大汽车爱好者而言,也是一本值得阅读和收藏的书籍。此外,本书作者还为广大一线教师提供了服务于本书的教学资源库,有需要者可致电 13810412048 或发邮件至 2393867076@qq.com。

由于编者水平和经验所限,书中难免存在不妥和错误之处,敬请广大读者批评指正。

编者



项目一

发动机认知

任务一 发动机的分类与组成 / 2

任务二 发动机的工作原理 / 14

任务三 发动机主要性能指标与型号编制 / 26

项目二

曲柄连杆机构

任务一 曲柄连杆机构认知 / 36

任务二 机体组 / 44

任务三 活塞连杆组 / 67

任务四 曲轴飞轮组 / 88

项目三

配气机构

任务一 配气机构认知 / 106

任务二 气门组 / 114

任务三 气门传动组 / 132

任务四 配气相位 / 146

项目四

发动机润滑系统

任务一 润滑系统认知 / 158

任务二 润滑系统主要部件结构与检修 / 173

项目五

发动机冷却系统

任务一 冷却系统认知 / 192

任务二 冷却系统主要部件结构与检修 / 205

项目六

发动机起动系统

任务一 起动系统认知 / 226

任务二 起动系统主要部件结构与检修 / 236

项目七

发动机点火系统

任务一 点火系统认知 / 254

任务二 点火系统主要部件结构与检修 / 266

项目八

发动机燃油供给系统

任务一 燃油供给系统认知 / 282

任务二 燃油系统主要部件结构与检修 / 292

参考文献 / 305

项目一

发动机认知

汽车发动机是汽车的“心脏”，为汽车的行走提供动力，关系着汽车的动力性、经济性、环保性。简单来说，发动机就是一个能量转换机构，即将汽油（柴油）或天然气的热能，通过在密封气缸内燃烧气体膨胀，推动活塞做功，转变为机械能，这是发动机最基本的原理。发动机的所有结构都是为能量转换服务的，发动机伴随着汽车走过了100多年的历史，无论是在设计、制造、工艺还是在性能、控制方面都有很大的提高，但其基本原理仍然没有改变。本项目主要介绍汽车发动机的分类与组成、发动机的工作原理、发动机型号的编制规则、发动机的主要性能指标等。通过本项目的学习应对发动机的基础知识有一个整体的了解。

任务

发动机的分类与组成



发动机的分类

学习目标

完成本学习任务后，你应当达到以下目标：

知识目标

1. 掌握发动机的总体构造。
2. 了解发动机的类型和组成。
3. 掌握发动机常用术语。

能力目标

1. 能够说出发动机的组成和各部分功用。
2. 能够识别发动机的类型。

任务引入

汽车发动机是汽车的动力源，是汽车的核心部分。在汽车的维修中，发动机的检修占了很大的比重。要对其进行检修首先就要认识各种类型的发动机，了解汽车发动机的总体组成等知识，保证对汽车底盘各系统的全面了解，为后面的学习打下基础。

任务实施

一、发动机的分类

现代汽车发动机一般都属于内燃机，具有热效率高、体积小、便于移动、起动性能好等优点，因而被广泛应用。发动机种类繁多，根据不同特点有不同分类。

1. 按照行程分类

发动机按照完成一个工作循环所需的冲程数可分为四冲程内燃机和二冲程内燃机。把曲轴转两圈（ 720° ），活塞在气缸内上下往复运动四个冲程，完成一个工作循环的内燃机称为四冲程内燃机，如图 1-1-1 所示；而把曲轴转一圈（ 360° ），活塞在气缸内上下往复运动两个冲程，完成一个工作循环的内燃机称为二冲程内燃机，如图 1-1-2 所示。汽车发动机广泛使用四冲程内燃机。



图 1-1-1 四冲程发动机



图 1-1-2 二冲程发动机

2. 按照冷却方式分类

发动机按照冷却方式不同可以分为水冷发动机和风冷发动机。水冷发动机是利用在气缸体和气缸盖冷却水套中进行循环的冷却液作为冷却介质进行冷却的，如图 1-1-3 所示；而风冷发动机是利用流动于气缸体与气缸盖外表面散热片之间的空气作为冷却介质进行冷却的，如图 1-1-4 所示。水冷发动机冷却均匀，工作可靠，冷却效果好，被广泛地应用于现代车用发动机。



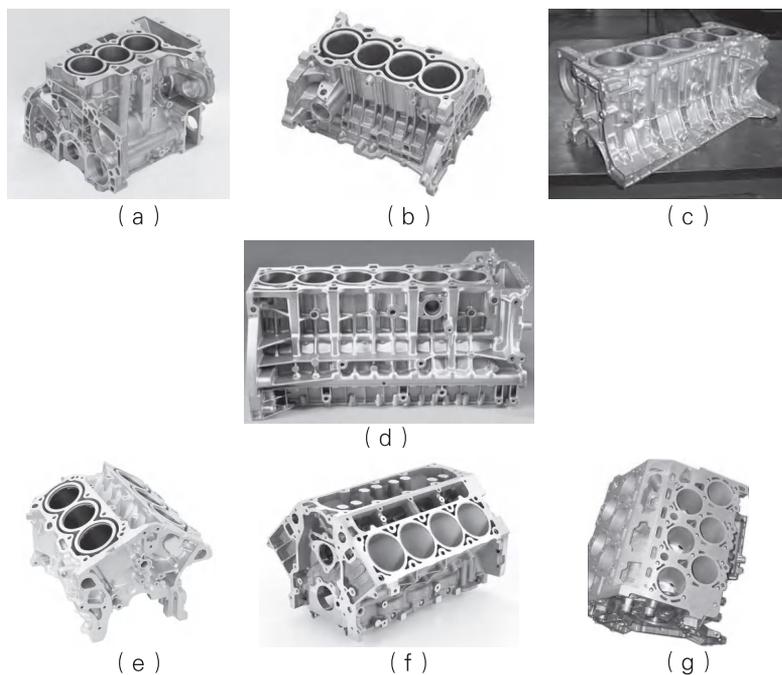
图 1-1-3 水冷式发动机



图 1-1-4 风冷式发动机

3. 按照气缸数目分类

发动机按照气缸数目不同可以分为单缸发动机和多缸发动机。仅有一个气缸的发动机称为单缸发动机；有两个以上气缸的发动机称为多缸发动机。如双缸、三缸、四缸、五缸、六缸、八缸、十二缸、十六缸等都是多缸发动机。现代车用发动机多采用三缸，四缸、六缸、八缸发动机，如图 1-1-5 所示。

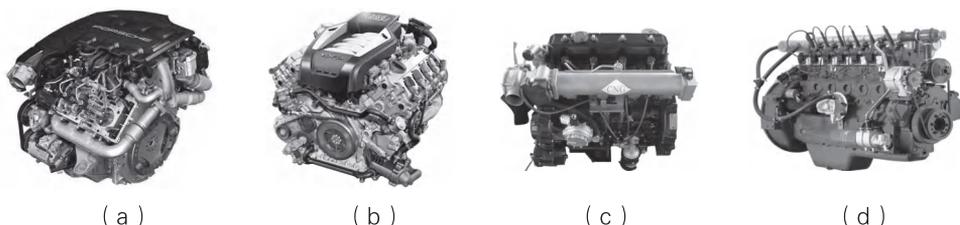


(a) 直列三缸；(b) 直列四缸；(c) 直列五缸；(d) 直列六缸；(e) V 型六缸；(f) V 型八缸；(g) W 型十二缸

图 1-1-5 不同气缸数目的发动机

4. 按照所用燃料分类

发动机按照所使用燃料的不同可以分为汽油机和柴油机。使用汽油为燃料的内燃机称为汽油机；使用柴油为燃料的内燃机称为柴油机。汽油机与柴油机比较各有其特点：汽油机转速高，质量小，噪声小，起动容易，制造成本低；柴油机压缩比大，热效率高，经济性能和排放性能都比汽油机好。另外，还有以液化石油气或天然气为燃料的其他代用燃料发动机。如图 1-1-6 所示。



(a) 汽油发动机；(b) 柴油发动机；(c) 天然气 (CNG) 发动机；(d) 液化石油气 (LPG) 发动机

图 1-1-6 燃烧不同燃料的发动机

5. 按照进气系统分类

发动机按照进气系统是否采用增压方式可以分为自然吸气（非增压）式发动机和强制进气（增压式）发动机。若进气是在接近大气状态下进行的，则为非增压内燃机或自然吸气式内燃机；若利用增压器将进气压力增高，进气密度增大，则为增压内燃机。增压可以提高内燃机功率，如图 1-1-7 所示。

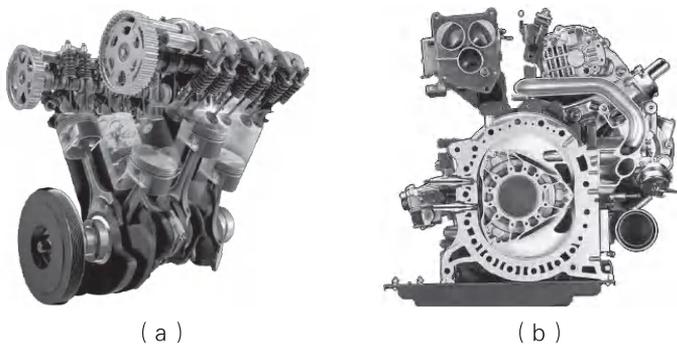


(a) 自然吸气发动机；(b) 强制进气发动机

图 1-1-7 不同进气形式的发动机

6. 按活塞运动方式分类

活塞式发动机可分为往复活塞式和旋转活塞式两种。前者活塞在气缸内作往复直线运动，后者活塞在气缸内做旋转运动。如图 1-1-8 所示。

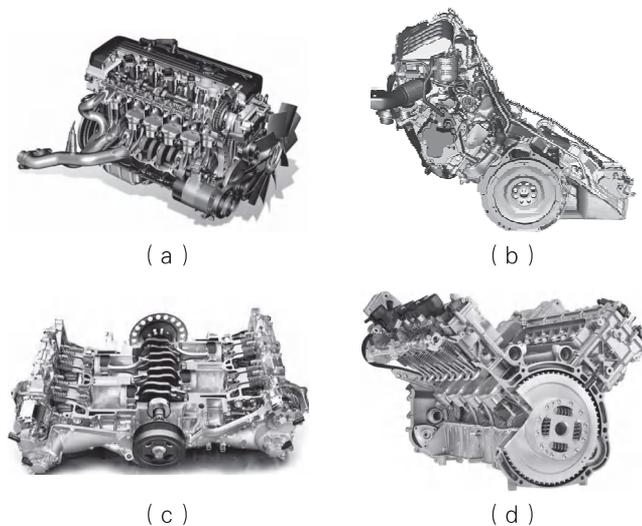


(a) 往复活塞式；(b) 旋转活塞式

图 1-1-8 不同活塞工作方式的发动机

7. 按照气缸布置方式分类

发动机按照气缸布置方式的不同可分为直列、斜置、对置、V 型。如图 1-1-9 所示。



(a) 直列发动机；(b) 斜置发动机；(c) 对置发动机；(d) V型发动机

图 1-1-9 不同气缸布置的发动机

二、发动机的组成

发动机结构形式多种多样，其构造也千差万别，但由于基本原理相同，所以其基本结构也大体相同（发动机基本结构如图 1-1-10 所示）。就往复式发动机而言，汽油发动机通常由曲柄连杆机构、配气机构（两大机构）和燃油供给系统、冷却系统、润滑系统、起动系统、点火系统（五大系统）组成。柴油发动机通常由两大机构和四大系统组成（无点火系统）。图 1-1-11 所示为发动机组成部件。

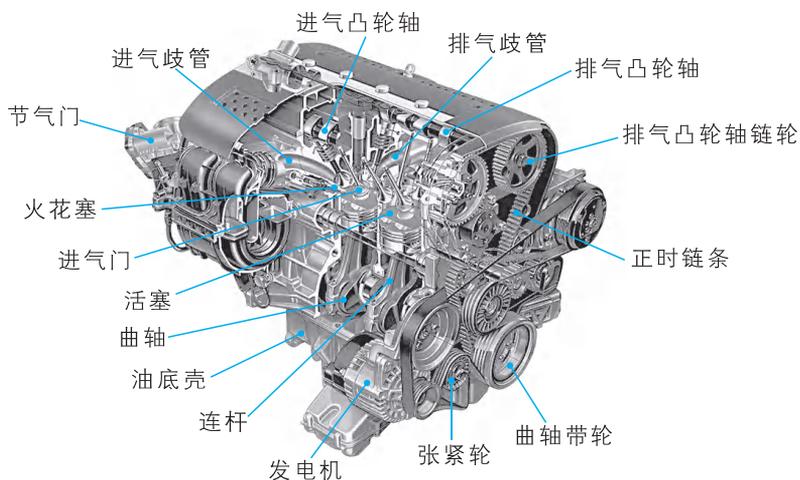


图 1-1-10 发动机总体结构

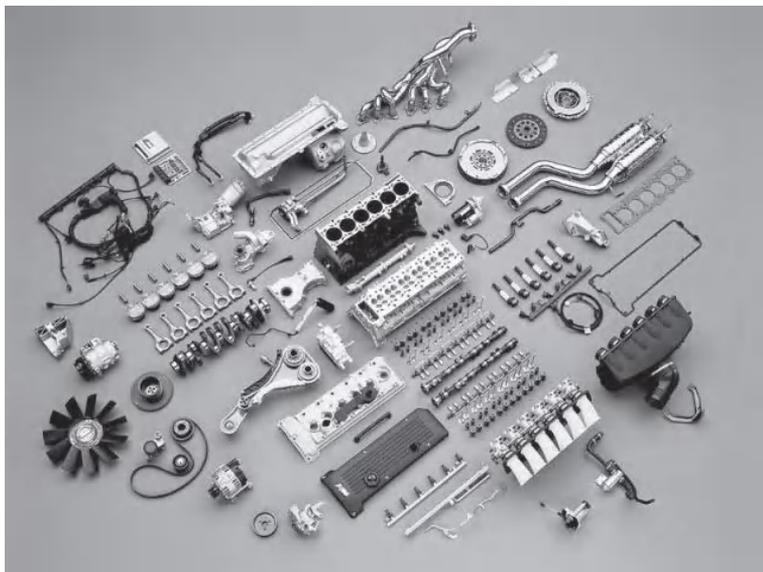
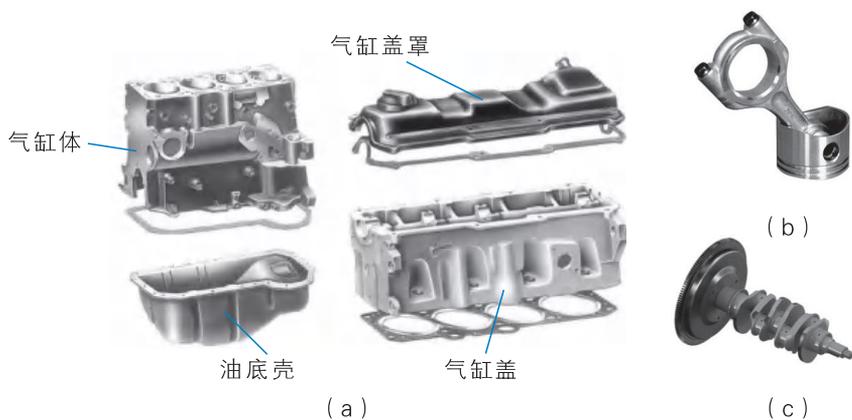


图 1-1-11 发动机组成部件

1. 曲柄连杆机构

曲柄连杆机构的作用是提供燃烧场所，把燃料燃烧后气体作用在活塞顶上的膨胀压力转变为曲轴旋转的转矩，不断输出动力。曲柄连杆机构是发动机实现工作循环，完成能量转换的主要运动零件。在做功冲程，它将燃料燃烧产生的热能（活塞往复运动、曲轴旋转运动）转变为机械能，对外输出动力；在其他冲程，则依靠曲柄和飞轮的转动惯性、通过连杆带动活塞上下运动，为下一次做功创造条件。曲柄连杆机构由机体组、活塞连杆组、曲轴飞轮组三部分组成。如图 1-1-12 所示。



(a) 机体组；(b) 活塞连杆组；(c) 曲轴飞轮组

图 1-1-12 曲柄连杆机构

2. 配气机构

配气机构的功用是按照发动机每一气缸内所进行的工作循环和发火次序的要求，定时开启和关闭各气缸的进、排气门，使新鲜充量得以及时进入气缸，废气得以及时从气缸排出；在压缩与膨胀行程中，保证燃烧室的密封。新鲜充量对于汽油机而言是汽油和空气的混合气，对于柴油机而言是纯空气。配气机构一般由气门组和气门传动组组成，如图 1-1-13 所示。

3. 燃油供给系统

汽油发动机燃油供给系统的作用是根据发动机各种不同工况的要求，配制出一定数量和浓度的可燃混合气供入气缸，使之在临近压缩终了时点火燃烧而膨胀做功。最后，供给系统还应将燃烧产物——废气排入大气中。燃油供给系统一般包括油箱、油泵、燃油滤清器、喷油器、燃油管道等，如图 1-1-14 所示。

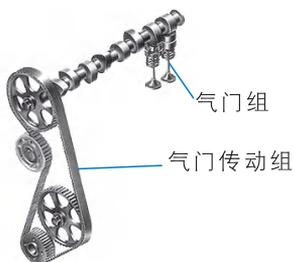


图 1-1-13 配气机构

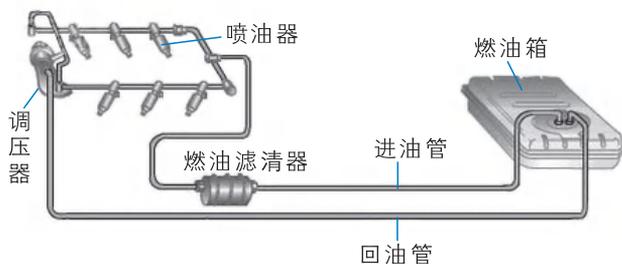


图 1-1-14 燃油输送路线

4. 冷却系统

冷却系统的功用是将受热零件吸收的部分热量及时散发出去，保证发动机在最适宜的温度状态下工作。

发动机的冷却系统有风冷和水冷之分。以空气为冷却介质的冷却系称为风冷系；以冷却液为冷却介质的冷却系称为水冷系。水冷发动机的冷却系统主要零部件有节温器、水泵、水泵皮带、散热器、散热风扇、水温传感器等，如图 1-1-15 所示。

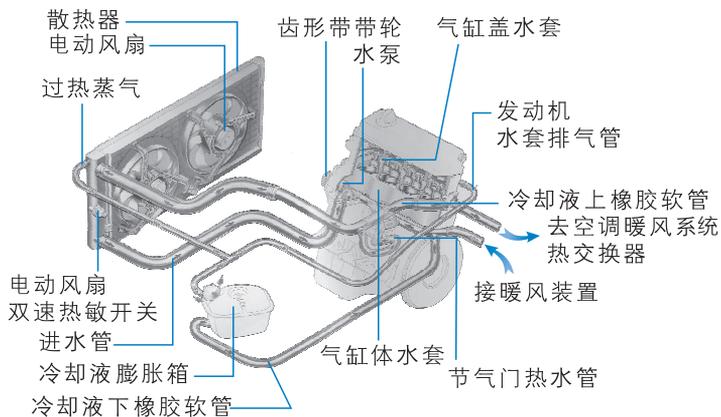


图 1-1-15 发动机冷却系统

5. 润滑系统

润滑系统的功用是向做相对运动的零件表面输送定量的清洁润滑油，以实现液体摩擦，减小摩擦阻力，减轻机件的磨损。并对零件表面进行清洗和冷却。润滑系统通常由润滑油道、机油泵、机油滤清器、机油集滤器和机油冷却器等组成，如图 1-1-16 所示。

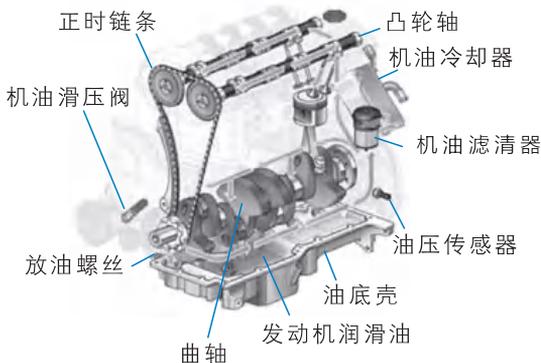


图 1-1-16 润滑系统

6. 起动系统

要使发动机由静止状态过渡到工作状态，必须先用外力转动发动机的曲轴，使活塞作往复运动，气缸内的可燃混合气燃烧膨胀做功，推动活塞向下运动使曲轴旋转，发动机才能自行运转，工作循环才能自动进行。因此，曲轴在外力作用下开始转动到发动机开始自动地怠速运转的全过程，称为发动机的起动。完成起动过程所需的装置，称为发动机的起动系统。起动系统由蓄电池、点火开关、启动继电器、起动机等组成，如图 1-1-17 所示。起动系统的功用是通过起动机将蓄电池的电能转换成机械能，起动发动机运转。

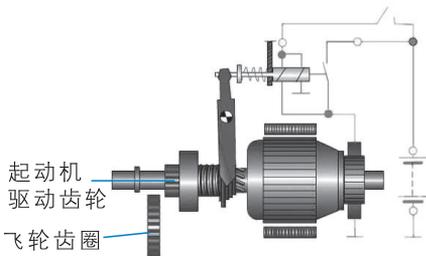


图 1-1-17 起动系统

7. 点火系统

在汽油发动机中，气缸内的可燃混合气是靠电火花点燃的，为此在汽油机的气缸盖上装有火花塞，火花塞头部伸入燃烧室内。能够按时在火花塞电极间产生电火花的全部设备称为点火系统。点火系统的作用是根据发动机的工作需要，及时地点燃缸内的混合气。点火系统通常包括蓄电池、分电器、点火开关、点火线圈和火花塞等组成。如图 1-1-18 所示。

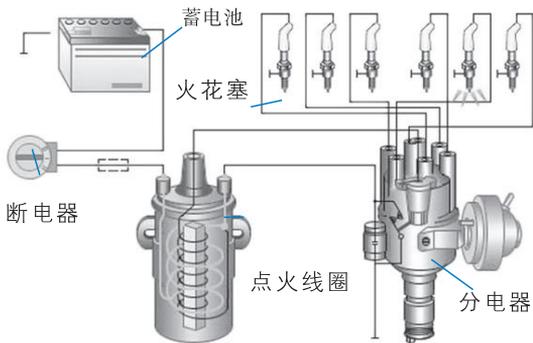


图 1-1-18 点火系统

任务实训

根据任务要求，确定所需要的实训场地、设备及工具，以小组讨论的方式制定详细的工作计划（操作流程或工序），对小组成员进行合理分工，实施计划，完成任务并记录。

| 任务 | 发动机的分类与组成 | | | | |
|-------------------|-----------|----|--|------|--|
| 学生姓名 | | 班级 | | 学号 | |
| 实训场地 | | 学时 | | 日期 | |
| 设备及工具 | | | | | |
| 小组成员及分工 | | | | | |
| 工作计划（操作流程或工序） | | | | 测试结果 | |
| 写出发动机的类型 | | | | | |
| 写出发动机的组成 | | | | | |
| 根据测试结果写出维修建议或学习计划 | | | | | |
| | | | | | |

任务练习

一、填空题

1. 发动机一般都属于_____，具有_____、_____、_____、_____等优点。
2. 按照完成一个工作循环所需的_____，发动机可分为_____和_____。
3. 仅有一个气缸的发动机称为_____。
4. 汽油发动机通常由_____、_____和_____、_____、_____组成。
5. 柴油发动机没有_____。

二、判断题

1. 四冲程发动机一个工作循环，曲轴旋转四周。 ()
2. 往复式活塞式发动机活塞在气缸内做往复直线运动。 ()
3. 四冲程发动机和二冲程发动机每个工作循环都包括进气、压缩、做功和排气四个行程。 ()
4. 汽油机和柴油机的点火方式不同，但其混合气形成方式是相同的。 ()
5. 压缩比反映了活塞由下止点运动到上止点时，气缸内的气体被压缩的程度。 ()
6. 汽油机和柴油机都属于内燃机，它们的混合气形成方式是一样的。 ()

三、选择题

1. 活塞一个行程所扫过的容积称为 ()。
 - A. 燃烧室容积
 - B. 气缸总容积
 - C. 气缸工作容积
 - D. 前三项都不是
2. 四冲程发动机的有效行程是指 ()。
 - A. 压缩行程
 - B. 做功行程
 - C. 排气行程
 - D. 进气行程
3. 四冲程发动机一个工作循环曲轴旋转两周，凸轮轴转 ()。
 - A. 一周
 - B. 两周
 - C. 三周
 - D. 四周

四、问答题

1. 简述发动机由哪几部分组成？
2. 简述发动机按照气缸布置方式分为哪几类？

任务拓展

转子发动机

往复式发动机和转子发动机都依靠混合气燃烧产生的膨胀压力以获得转动力。两种发动机的机构差异在于使用膨胀压力的方式。在往复式发动机中，产生在活塞顶部表面的膨胀压力向下推动活塞，机械力被传给连杆，带动曲轴转动。对于转子发动机，膨胀压力作用在转子的侧面。从而将三角形转子的三个面之一推向偏心轴的中心。这一运动在两个分力的力作用下进行：一个是指向输出轴中心的向心力，另一个是使输出轴转动的切线力。与往复式发动机相比，转子发动机取消了无用的直线运动，因而同样功率的转子发动机尺寸较小，重量较轻，而且振动和噪声较低，具有较大优势。如图 1-1-19 所示转子发动机。

转子发动机的运动特点是：三角转子的中心绕输出轴中心公转的同时，三角转子本身又绕其中心自转。在三角转子转动时，以三角转子中心为中心的内齿圈与以输出轴中心为中心的齿轮啮合，齿轮固定在缸体上不转动，内齿圈与齿轮的齿数之比为 3 : 2。上述运动关系使得三角转子顶点的运动轨迹（即气缸壁的形状）似“8”字形。三角转子把气缸分成三个独立空间，三个空间各自先后完成进气、压缩、做功和排气，三角转子自转一周，发动机点火做功三次。由于以上运动关系，输出轴的转速是转子自转速度的 3 倍，这与往复运动式发动机的活塞与曲轴 1 : 1 的运动关系完全不同，壳体的内部空间（或旋轮线室）总是被分成三个工作室。在转子的运动过程中，这三个工作室的容积不停地变动，在摆



图 1-1-19 转子发动机

线形缸体内相继完成进气、压缩、燃烧和排气四个过程。每个过程都是在摆线形缸体中的不同位置进行，这明显区别于往复式发动机。往复式发动机的四个过程都是在一个气缸内进行的。转子发动机的排气量通常用单位工作室容积和转子的数量来表示。例如，对于型号为 13B 的双转子发动机，排量为“654cc × 2”。单位工作室容积指工作室最大容积和最小容积之间的差值；而压缩比是最大容积和最小容积的比值。在往复式发动机上也使用同样的定义。

转子发动机工作简图如图 1-1-20 所示。

转子发动机工作容积的变化，以及与四循环往复式发动机的比较。尽管在这两种发动机中，工作室容积都成波浪形稳定变化，但二者之间存在着明显的不同。首先是每个过程的转动角度：往复式发动机转动 180° ，而转子发动机转动 270° ，是往复式发动机的 1.5 倍。换句话说，在往复式发动机中，曲轴（输出轴）在四个工作过程中转两圈（ 720° ）；而在转子发动机中，偏心轴转三圈（ 1080° ），转子转一圈。这样，转子发动机就能获得较长的过程时间，而且形成较小的扭矩波动，从而使运转平稳流畅。此外，即使在高速运转中，转子的转速也相当缓慢，从而有更宽松的进气和排气时间，为那些能够获得较高的动力性能系统的运行提供了便利。

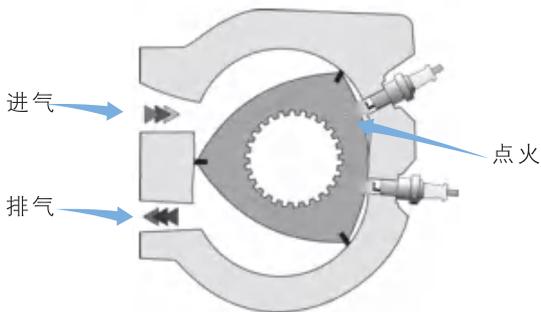


图 1-1-20 转子发动机工作简图

任务

二

发动机的工作原理

学习目标

完成本学习任务后，你应当达到以下目标：

知识目标

1. 了解发动机的基本术语。
2. 掌握发动机的工作原理。
3. 了解四冲程与两冲程发动机工作原理的区别。
4. 了解柴油机与汽油机工作原理的区别。

能力目标

1. 能够说出发动机各术语的意义。
2. 能够描述四冲程发动机的工作原理。

任务引入

全面了解发动机，就必须要了解发动机的工作原理。本任务中的内容在发动机概述这一项目中占有重要地位。主要阐述了发动机的基本术语、发动机的工作过程及四个行程（二冲程发动机是两个行程）的工作过程和特点。清晰理解发动机的工作原理将为今后进行发动机故障的诊断和拆检打下基础。

任务实施



发动机基本术语

一、发动机基本术语

汽车发动机是一部复杂的能量转换机器，为了便于研究它的工作过程，图 1-2-1 示出了发动机示意图。

发动机结构的基本术语有以下几个。

1. 上止点

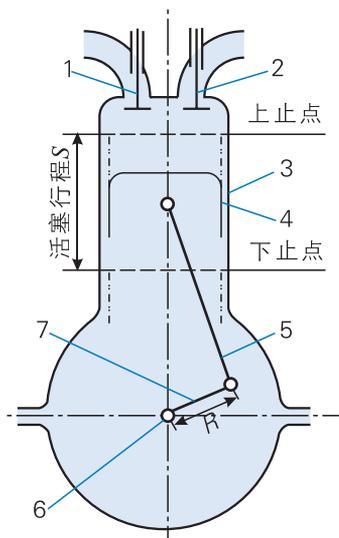
活塞顶部离曲轴回转中心最远处，即活塞最高位置。

2. 下止点

活塞顶部离曲轴回转中心最近处，即活塞最低位置。

3. 活塞行程

上、下止点间的距离 S 称为活塞行程。



1- 进气门；2- 排气门；3- 气缸；4- 活塞；5- 连杆；6- 曲轴回转中心；7- 曲柄

图 1-2-1 发动机示意图

4. 曲柄半径

曲轴旋转中心到曲柄销中心的距离 R 称为曲柄半径。

5. 气缸工作容积

活塞从上止点到下止点所扫过的容积称为气缸工作容积或气缸排量，用符号 V_h 表示。多缸发动机各气缸工作容积的总和，称为发动机工作容积或发动机排量，用符号 V_L （单位为 L）表示。

$$V_L = \frac{\pi D^2}{4 \times 10^6} S i$$

式中 D ——气缸直径，单位为 mm；

S ——活塞行程，单位为 mm；

i ——气缸数。

6. 燃烧室容积 (V_c)

活塞在上止点时，活塞顶上面的空间为燃烧室，它的容积叫燃烧室容积(单位为 L)。

7. 气缸总容积 (V_a)

活塞在下止点时，活塞顶上面整个空间的容积（单位为 L）。它等于气缸工作容积与燃烧室容积之和，即

$$V_a = V_h + V_c$$

8. 压缩比 (ε)

气缸总容积与燃烧室容积的比值, 即

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

它表示活塞由下止点移动到上止点时, 气缸内气体被压缩的程度。压缩比愈大, 则压缩终了时气缸内的压力和温度就愈高, 燃烧速度愈快, 发动机功率增大, 热效率高, 经济性好; 但压缩比过大, 汽油机会产生爆燃和表面点火等不正常燃烧现象。

目前, 一般车用汽油机的压缩比约为 6~10 (个别汽油机也有高达 10 以上的), 柴油机的压缩比约为 15~22。

9. 发动机工况

发动机在某一时刻的运行状况称为发动机工况, 用发动机此时输出的转速和有效功率表示。

10. 工作循环

在气缸内进行的每一次将热能转化为机械能的一系列连续过程 (进气、压缩、做功和排气) 称为发动机的工作循环。

二、发动机工作原理

1. 四冲程汽油机工作原理

四冲程汽油发动机的工作循环是一个复杂的过程, 它由进气、压缩、做功、排气四个行程组成。如图 1-2-2 所示。

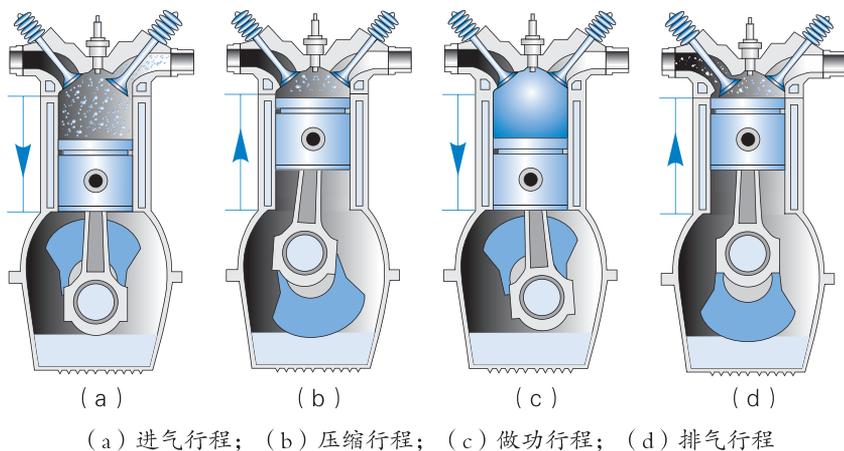


图 1-2-2 四冲程发动机工作过程

(1) 进气行程

曲轴带动活塞从上止点向下止点运动，同时，进气门开启，排气门关闭。进气过程开始活塞位于上止点，当活塞由上止点向下止点移动时，活塞上方的容积增大，气缸内的气体压力下降，形成一定的真空度。由于进气门开启，气缸与进气管相通，混合气被吸入气缸，直至活塞向下运动至下止点。当活塞移动到下止点时，气缸内充满了新鲜混合气和上一个工作循环未排净的废气。

在进气过程中，受空气滤清器、进气管道、进气门的影响，进气终了时气缸内气体压力略低于大气压力，约为 $0.075 \sim 0.09 \text{ MPa}$ ，同时受到残余废气和高温机件加热的影响，气体温度达到 $97 \sim 127^\circ\text{C}$ 。实际上汽油发动机的进气门是在活塞到达上止点之前打开，并且延迟到下止点之后关闭的，以便吸入更多的可燃混合气。

(2) 压缩行程

活塞由下止点向上止点运动，进、排气门都关闭。气缸内成为一个封闭容积，曲轴在飞轮等惯性力的作用下带动旋转，通过连杆推动活塞向上移动，气缸内容积逐渐减小，可燃混合气受到压缩，压力和温度不断升高，当活塞到达上止点时压缩行程结束。

压缩行程中，可燃混合气压力可达 $0.6 \sim 1.2 \text{ MPa}$ ，温度可达 $327 \sim 427^\circ\text{C}$ 。压缩比越大、压缩终了时气缸内的压力和温度越高，则燃烧速度越快、发动机功率也越大。但压缩比太高，容易引起爆燃。所谓爆燃就是由于气体压力和温度过高，可燃混合气在没有点燃的情况下自行燃烧，且火焰高于正常燃烧数倍的速度向外传播，造成尖锐的敲缸声。爆燃会使发动机过热，功率下降，汽油消耗量增加以及机件损坏。轻微爆燃是允许的，但强烈爆燃对发动机是很有害的。

(3) 做功行程

当活塞位于压缩行程接近上止点（即点火提前角）位置时，火花塞产生电火花点燃可燃混合气，此时进气门和排气门仍然保持关闭，高温高压气体膨胀，推动活塞从上止点向下止点运动，通过连杆使曲轴旋转并输出机械能。

在做功行程中，可燃混合气燃烧后放出大量的热使气缸内气体温度和压力急剧升高，最高压力可达 $3 \sim 5 \text{ MPa}$ ，最高温度可达 $1927 \sim 2527^\circ\text{C}$ 。随着活塞向下运动，气缸内容积增加，气体压力和温度降低。当活塞运动到下止点时，做功行程结束，气体压力降低到 $0.3 \sim 0.5 \text{ MPa}$ ，气体温度降低到 $1027 \sim 1327^\circ\text{C}$ 。

(4) 排气行程

当做功接近终了时，排气门开启，进气门仍然关闭，靠废气的压力先进行自由排气，活塞到达下止点再向上止点运动时，继续把废气强制排出到大气中去，活塞越过上止

点后,排气门关闭,排气行程结束。实际汽油发动机的排气行程也是排气门提前打开、延迟关闭,以便排出更多的废气。

排气行程终止时,由于燃烧室容积的存在,不可能将废气全部排出气缸,气体压力仍高于大气压力,约为 $0.105 \sim 0.115 \text{ MPa}$,温度约为 $627 \sim 927^\circ\text{C}$ 。曲轴继续旋转,活塞从上止点向下止点运动,又开始了下一个新的循环过程。

可见四冲程汽油发动机经过进气、压缩、做功、排气四个行程完成一个工作循环,这期间活塞在上、下止点往复运动了四个行程,相应地曲轴旋转了两圈。

2. 二冲程汽油机工作原理

二冲程内燃机的工作循环是在两个活塞行程即曲轴旋转一周的时间内完成的。在四冲程内燃机中,常把排气过程和进气过程合称为换气过程,而在二冲程内燃机中换气过程是指废气从气缸内被新气扫除并取代的过程。这两种内燃机工作循环的不同之处主要在于换气过程。如图 1-2-3 所示。

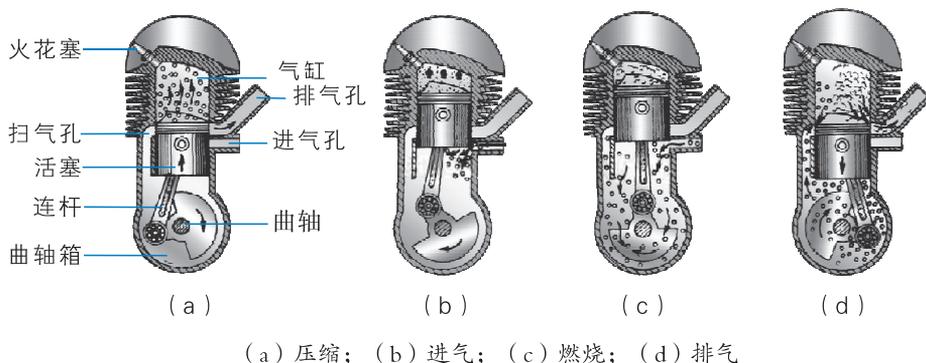


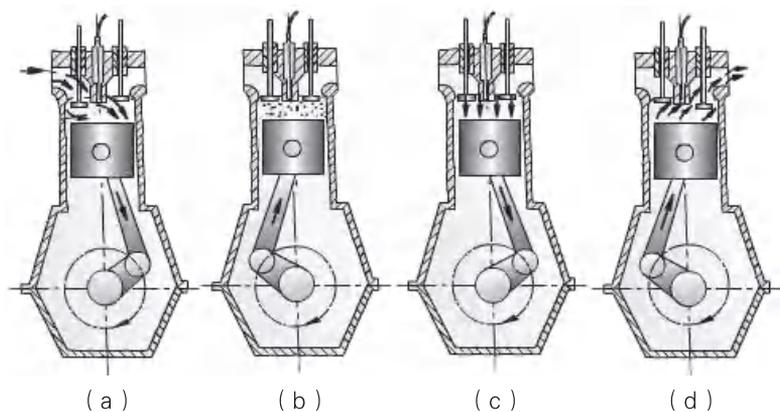
图 1-2-3 二冲程汽油机工作原理

3. 四冲程柴油机工作原理

四冲程柴油发动机和四冲程汽油发动机的工作过程相同,每一个工作循环同样包括进气、压缩、做功和排气四个行程,但由于柴油发动机使用的燃料是柴油,柴油与汽油有较大的差别,柴油黏度大,不易蒸发,自燃温度低,故可燃混合气的形成、着火方式、燃烧过程以及气体温度压力的变化都和汽油发动机不同。如图 1-2-4 所示为四冲程柴油发动机工作原理图。

(1) 进气行程

四冲程柴油发动机在进气行程中吸入气缸的是纯空气,而不是可燃混合气。进气终了时气体压力约为 $0.0785 \sim 0.0932 \text{ MPa}$,气体温度约为 $27 \sim 97^\circ\text{C}$ 。



(a) 进气行程；(b) 压缩行程；(c) 做功行程；(d) 排气行程

图 1-2-4 四冲程柴油发动机工作过程

(2) 压缩行程

四冲程柴油发动机压缩行程压缩的也是纯空气，在压缩行程接近上止点时，喷油器将高压柴油以雾状喷入燃烧室，柴油和空气在气缸内形成可燃混合气并着火燃烧。压缩终了时，气体压力约为 $3.5 \sim 4.5 \text{ MPa}$ ，气体温度约为 $477 \sim 727^\circ\text{C}$ 。

(3) 做功行程

柴油喷入气缸后，在很短的时间内与空气混合后便立即着火燃烧，柴油发动机的可燃混合气是在气缸内部形成的，而不像汽油发动机那样，混合气主要是在气缸外部形成的。柴油发动机燃烧过程中气缸内出现的最高压力要比汽油发动机高得多，可高达 $6 \sim 9 \text{ MPa}$ ，最高温度也可达 $1727 \sim 2227^\circ\text{C}$ 。做功终了时，气体压力约为 $0.2 \sim 0.4 \text{ MPa}$ ，气体温度约为 $927 \sim 1227^\circ\text{C}$ 。

(4) 排气行程

柴油发动机的排气行程和汽油发动机一样，废气同样经排气管排入到大气中去。排气终了时，气缸内气体压力约为 $0.105 \sim 0.125 \text{ MPa}$ ，气体温度约为 $527 \sim 727^\circ\text{C}$ 。柴油发动机与汽油发动机比较，柴油发动机的压缩比高、热效率高、燃油消耗率低，同时柴油价格较低。因此，柴油发动机的燃料经济性能好，而且柴油发动机的排气污染少，排放性能较好。但它的主要缺点是转速低、质量大、噪声大、振动大、制造和维修费用高。在其发展过程中，柴油发动机不断发扬其优点，克服缺点，提高速度，有望得到更广泛地应用。

四冲程发动机，只有一个行程是做功的，其他三个行程是做功的准备行程。因而，曲轴的转速是不均匀的。为了解决这个问题，第一是安装飞轮，第二是采用多缸四冲

程发动机。在多缸四冲程发动机的每一个气缸内，所有的工作过程都是相同的，但各个气缸的做功行程并不是同时发生，而是按照一定的工作顺序进行的。气缸数越多，发动机工作越平稳，但结构越复杂，尺寸和质量也会增加。

4. 二冲程柴油机工作原理

二冲程柴油机工作循环与汽油机的主要不同之处在于进入气缸的是纯空气，带有扫气泵的二冲程柴油机的工作原理如图 1-2-5 所示。

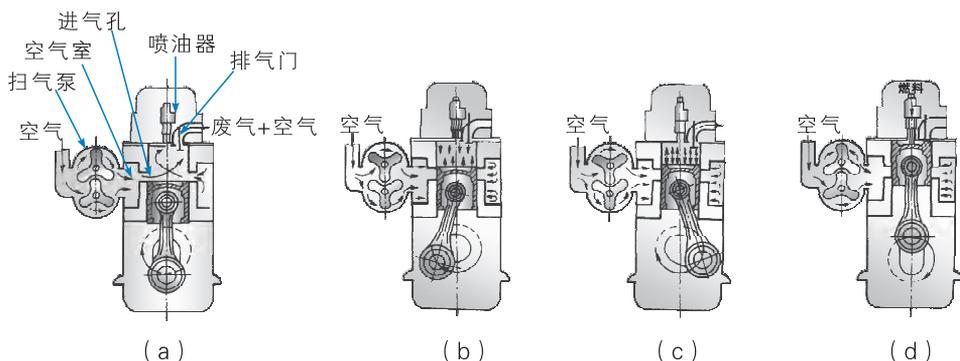


图 1-2-5 二冲程柴油机工作原理示意图

(1) 第一行程

活塞由下止点运动到上止点。行程开始时，进气孔和排气门均已开启，利用从扫气泵流出的空气使气缸换气。当活塞继续向上运动到进气孔关闭时，排气门也关闭，气缸内的空气被压缩，当活塞接近上止点时，喷油器向气缸内喷入雾状柴油，并自行着火燃烧。

(2) 第二行程

活塞由上止点运动到下止点。活塞到达上止点后，着火燃烧的高温高压气体推动活塞下行做功，当活塞下行到约 2/3 行程时，排气门开启，排出废气，活塞继续下行，进气孔开启，进行换气，换气过程一直延续到活塞上移将进气孔关闭为止。

三、汽油机和柴油机的比较

以四冲程汽油机和柴油机为例。

共同点：

(1) 每个工作循环都包含进气、压缩、做功和排气四个活塞行程，每个行程各占 180° 曲轴转角，即曲轴每旋转两周完成一个工作循环。

(2) 四个活塞行程中，只有一个做功行程有效，其余三个是辅助行程。

不同点:

(1) 汽油机的混合气是在气缸外部的进气道形成的, 而柴油机的混合气是在气缸内部形成的。汽油机在进气行程时, 吸入气缸的是混合气; 柴油机在进气行程时, 吸入气缸内的是纯空气。

(2) 汽油机在压缩终了时, 靠火花塞发出电火花点燃混合气, 而柴油机靠高温高压使柴油自燃。

任务实训

根据任务要求, 确定所需要的实训场地、设备及工具, 以小组讨论的方式制定详细的工作计划(操作流程或工序), 对小组成员进行合理分工, 实施计划, 完成任务并记录。

| 任务 | 发动机的工作原理 | | | | |
|--------------------|---------------|----|--|------|--|
| 学生姓名 | | 班级 | | 学号 | |
| 实训场地 | | 学时 | | 日期 | |
| 设备及工具 | | | | | |
| 小组成员及分工 | | | | | |
| | 工作计划(操作流程或工序) | | | 测试结果 | |
| 写出常用的发动机术语并说出它们的意义 | | | | | |
| 写出柴油发动机与汽油发动机的区别 | | | | | |

根据测试结果写出维修建议或学习计划

任务练习

一、填空题

1. 活塞顶部离曲轴回转中心最远出，即活塞最高位置称为_____。
2. 上、下止点间的距离称为_____。
3. 活塞在上止点时，活塞顶上面的空间为_____，它的容积叫_____。
4. 四行程发动机的工作过程是一个复杂的过程，它由_____、_____、_____、_____四个行程组成。
5. 压缩行程时，活塞由_____向_____运动，进、排气门都_____。
6. 进气行程时，_____带动活塞从_____向_____运动，同时，_____开启，_____关闭。

二、判断题

1. 四行程发动机的活塞在气缸内移动一个行程，曲轴旋转 180 度。 ()
2. 四行程发动机凸轮轴转 200 转时曲轴是转 400 转。 ()
3. 顶置凸轮轴式发动机，其曲轴转数与凸轮轴转数相同（四行程）。 ()
4. 四冲程发动机在进行压缩行程时，进排气门都是开启的。 ()
5. 活塞行程是指上、下两止点间的距离。 ()

三、选择题

1. 四冲程发动机一个工作循环曲轴转 () 。
A. 半圈 B. 一圈 C. 一圈半 D. 两圈
2. 二冲程发动机一个工作循环曲轴转 () 。
A. 半圈 B. 一圈 C. 一圈半 D. 两圈

3. 四冲程发动机的四个冲程是（ ）。
- A. 进气、压缩、做功、排气
 - B. 进气、压缩、做功、扫气
 - C. 换气、压缩、做功、扫气
 - D. 换气、压缩、做功、排气
4. 不属于多缸发动机气缸排列形式的是（ ）。
- A. 直列式
 - B. V 形式
 - C. 对置式
 - D. X 形式

四、问答题

1. 简述四冲程汽油机工作原理。
2. 简述什么是气缸总容积、燃烧室容积和气缸工作容积？
3. 简述四冲程柴油机和汽油机的共同点与不同点。

任务拓展

水平对置发动机

水平对置发动机通常被称为 Boxer，Boxer 原意是拳击手，这种引擎气缸分成左右两边，每边 2 或 3 个气缸，左右两边的活塞作 180 度的对向运动，犹如拳击手出拳对打，因而得此称呼。目前在全球市场，拥有水平对置发动机技术的只有德国保时捷和富士重工斯巴鲁两个厂商。它们为何坚持这一并不是十分普及的发动机技术？这种结构的发动机有什么特点和优势？为何其他厂商没有普遍采用？图 1-2-6 所示为水平对置发动机活塞

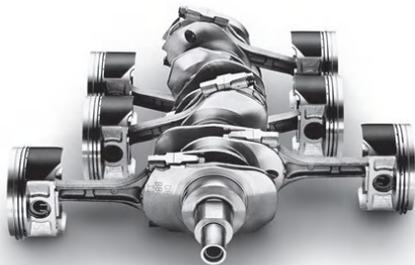


图 1-2-6 水平发动机活塞布局

布局。

水平对置发动机的本质依然为往复式活塞式内燃机，依然采用了曲柄连杆机构作为运动系统，依然有进气、压缩、做功、排气四个冲程，这就决定了水平对置发动机依然会有普通发动机的一些优缺点，但也正因为它独特的气缸布置方式又有它自己独有的优缺点。

水平对置发动机的一个显著优点就是重心低。如果将 B4 理解为 V4（尽管 V4 是用在摩托车上的），将 B6 理解为 V6，就可以很好理解水平对置发动机重心低的这个优点了。如果再将所有的运动部件看作质点的话，那么他们都在一个水平面上，自然重心也就在该水平面上了。重心低这个优点直接增加了车辆行驶稳定性，高速过弯时车辆的侧倾更小，减小了侧翻的可能，注重操控的车型一般采用这种发动机。显然斯巴鲁的翼豹，保时捷的 911 都是属于这类车型。

高度低是水平对置发动机又一大优点。将气缸放在一条直线上当然高度自然就会降低，这与前面所说的造成重心低那个优点的原因有些类似。另外，我们知道，发动机不光有曲柄连杆机构，还有配气机构、燃油系统、进排气系统、点火系统、起动系统、润滑系统等其他部分，水平对置发动机这样的气缸形式有利于其他部分的布置，使发动机整体高度较小，这样就便于在有限的发动机舱中增加涡轮增压器的装置。而保时捷一直钟情于水平对置式发动机有很大一部分原因是源于它的这个优点，因为保时捷 911 车型都采用了“溜背”式的外形设计和后置后驱的驱动方式，如图 1-2-7 所示，这就需要高度较小的发动机来提供动力。

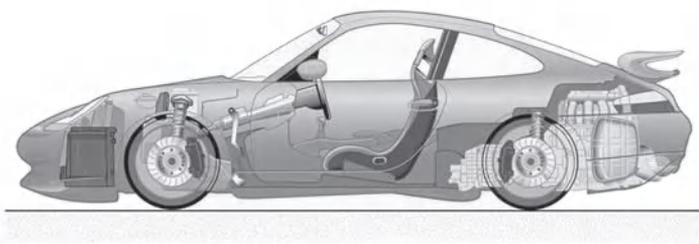


图 1-2-7 发动机后置后驱

直列四缸发动机的点火顺序为 1423，那么在 1 缸做功的时候，2、3、4 缸分别处在进气、排气、压缩过程，我们都知道做功是气体迅速膨胀的过程，这时气体对活塞的压力是很大的，远远大于其他三个缸内的气体对活塞的压力，这样就造成了整个机体不平衡的振动。V 型发动机由于两排气缸有一定的夹角，这个 z 轴上的振动是活塞上

下振动的一个分力造成的，而水平方向上的分力是可以互相抵消的，如果将 V 型发动机的夹角无限扩大，扩大到 180 度，也就是 B 型发动机在 z 轴上没有分力，活塞上下振动的力等于水平方向上的力，是可以互相抵消的。

对置发动机有以上这么多优点：重心低、体积小、振动小、功率大，为什么全世界只有斯巴鲁和保时捷两家汽车公司采用呢？必然是它存在一定的缺点。首先是，润滑系统不太理想，技术要求很高；其次是冷却系统也要求很严格；最重要的是它的制造成本比 V 型发动机高，之前我们介绍的一大优点——振动小是种理想状态，要在实际工作中达到这种理想状态，对发动机各部分的设计和生产工艺是相当苛刻的，因此制造成本相比常见的直列或 V 型发动机高出不少。

总的说来，在原理上水平对置发动机与常见的直列和 V 型发动机是一样的，但由于气缸布置的特殊性，它又比常见的发动机有着重心低，体积小，振动小，功率大等优点，如果想要获得理想中的这些优秀的性能，就必须有苛刻的生产工艺保证，从而造成了它的成本要高于普通发动机，一般不太追求车辆的操控性，不太看重发动机大小的汽车厂家不会用这样高成本的发动机。