

汽车发动机构造与维修

主 审	路大勇		
主 编	张 鹏	赵鼎明	
副主编	曹瑞超	徐鹏跃	李 明
	丁 晖	曹 娟	

图书在版编目 (CIP) 数据

汽车发动机构造与维修/张鹏, 赵鼎明主编. —北京: 北京理工大学出版社, 2017. 9

ISBN 978 - 7 - 5682 - 4814 - 3

I. ①汽… II. ①张…②赵… 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 (2017) 第 218943 号

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010)68914775(总编室)

(010)82562903(教材售后服务热线)

(010)68948351(其他图书服务热线)

网 址 / [http://www. bitpress. com. cn](http://www.bitpress.com.cn)

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 /

开 本 / 787 毫米 × 1092 毫米 1/16

印 张 / 15

字 数 / 351 千字

版 次 / 2017 年 9 月第 1 版 2017 年 9 月第 1 次印刷

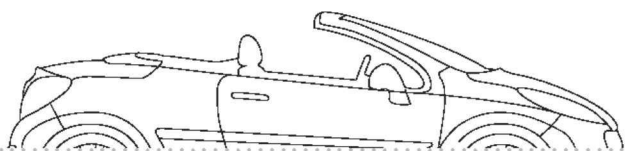
定 价 / 58.00 元

责任编辑 / 刘永兵

文案编辑 / 刘 佳

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 李志强



前言

P R E F A C E

本教材结合了汽车维修企业的生产实践，由校方和汽车维修企业联合编写。

全书共九个项目，包括发动机性能检测、曲柄连杆机构、配气机构、冷却系统、润滑系统、进排气系统、燃料供给系统、点火与起动系统以及发动机整机故障诊断与维修。

本书由张鹏、沧州汇众汽修赵鼎明工程师担任主编，曹瑞超、徐鹏跃、李明、丁晖以及曹娟担任副主编，路大勇担任主审。具体分工如下：项目一和项目二由徐鹏跃老师编写，项目三和项目七由李明老师编写，项目四由丁晖老师编写，项目五和项目六由张鹏老师编写，项目八由曹娟老师编写，项目九由曹瑞超老师编写，赵鼎明工程师提供全部案例和视频支持，全书由路大勇老师统筹主审。

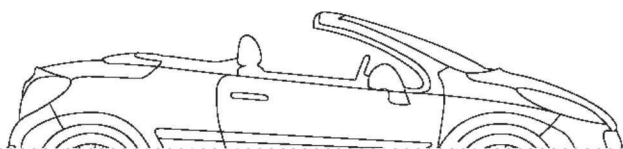
全书编排遵循模块项目式教学，各个模块按照基本原理、装配检测、系统维修等内容循序渐进地讲解，这种编写更适合于学生，使学生在了解基本原理的基础上进一步学习汽车各系统的构造和维修，达到掌握各知识点的目的。

本书可作为高等学校机械、汽车专业类学生的教材，也可作为汽车爱好者的参考用书。

本书在编写过程中参阅了大量的国内教材和文献资料，在此一并向原作者表示感谢。

由于时间仓促，加上编者水平有限，书中难免存在错误和不足之处，恳请广大读者批评指正。

编 者



目 录

C O N T E N T S

项目一 发动机性能检测	001
一、项目要求	001
二、相关知识	001
三、项目实施	009
项目二 曲柄连杆机构	012
一、项目要求	012
二、相关知识	012
三、项目实施	032
项目三 配气机构	039
一、项目要求	039
二、相关知识	039
三、项目实施	050
项目四 冷却系统	057
一、项目要求	057
二、相关知识	057
三、项目实施	085
项目五 润滑系统	096
一、项目要求	096
二、相关知识	096
三、项目实施	121
项目六 进排气系统	130
一、项目要求	130
二、相关知识	130
三、项目实施	161
项目七 燃料供给系统	179
一、项目要求	179
二、相关知识	179
三、项目实施	190

项目八 点火与起动系统	199
一、项目要求	199
二、相关知识	199
三、项目实施	211
项目九 发动机整机故障诊断与维修	218
一、项目要求	218
二、相关知识	218
三、项目实施	229

项目一

发动机性能检测

一、项目要求

（一）知识要求

- （1）了解发动机的作用与分类。
- （2）掌握发动机的工作原理与总体构造。
- （3）理解发动机的性能指标、工作循环及换气过程。

（二）技能要求

- （1）能正确使用气缸压力表测量气缸压力，并利用测得的数据与标准气缸压力进行对比。
- （2）能够在操作过程中掌握发动机工作原理。
- （3）能够根据测量、查询和计算得出的数据对发动机性能进行评价。

二、相关知识

（一）发动机的定义

发动机是汽车的动力源，是汽车的基本组成部分之一。

将燃料燃烧的热能转化为机械能的发动机，称为热力发动机。热力发动机分为外燃机和内燃机。外燃机的特点是燃料在机器外部燃烧，产生的热能通过其他介质转变为机械能，如蒸汽机、燃气轮机；而内燃机的特点是燃料在机器内部燃烧，产生的热能直接转变为机械能，如汽油机和柴油机。与外燃机相比，内燃机具有热效率高、体积和质量小、便于移动、起动性能好等优点，因此广泛应用于汽车、拖拉机等各种车辆上，现代汽车发动机都属于内燃机。

（二）发动机的分类

汽车发动机种类繁多，根据不同特点有不同的分类方式。

1. 按活塞的运动方式分类

根据活塞运动方式不同，活塞式内燃机可分为往复活塞式和旋转活塞式发动机。前者活

塞在气缸内做往复直线运动，后者活塞在气缸内做旋转运动。现代汽车发动机多采用往复活塞式发动机。

2. 按着火方式分类

根据着火方式不同，可分为点燃式和压燃式发动机。点燃式发动机是利用电火花点燃可燃混合气，如汽油机；压燃式发动机则是利用高温、高压使气缸内的可燃混合气自行着火燃烧，如柴油机。

3. 按使用燃料分类

根据使用燃料不同，可分为汽油机、柴油机和气体燃料发动机。汽油机是以汽油为燃料，柴油机是以柴油为燃料，气体燃料发动机是以天然气、液化石油气等为燃料。

4. 按冷却方式分类

根据冷却方式不同，可分为水冷式和风冷式发动机。水冷式发动机是以冷却液为冷却介质，而风冷式发动机是以空气为冷却介质。现代汽车多采用水冷式发动机。

5. 按冲程数分类

根据冲程数不同，可分为四冲程和二冲程发动机。活塞上下往复四个行程完成一个工作循环的发动机称为四冲程发动机；活塞上下往复两个行程完成一个工作循环的发动机称为二冲程发动机。现代汽车多采用四冲程发动机。

6. 按气缸数目分类

根据气缸数目不同，可分为单缸发动机和多缸发动机。多缸发动机有双缸发动机、四缸发动机、六缸发动机、八缸发动机和十二缸发动机。现代汽车多采用四缸、六缸和八缸发动机。

7. 按气缸布置方式分类

根据气缸布置方式不同，可分为对置式发动机、直列式发动机、斜置式发动机、V型发动机和W型发动机。现代汽车多采用直列式和V型发动机。

8. 按进气方式分类

根据进气方式不同，可分为自然吸气（非增压）式发动机和强制进气（增压）式发动机。

（三）发动机的基本术语

发动机的结构如图 1-1 所示。

1. 上止点

活塞顶部离曲轴回转中心最远处，即活塞最高位置称为上止点。

2. 下止点

活塞顶部离曲轴回转中心最近处，即活塞最低位置称为下止点。

3. 活塞行程

上止点和下止点之间的距离称为活塞行程，一般用 s 表示。

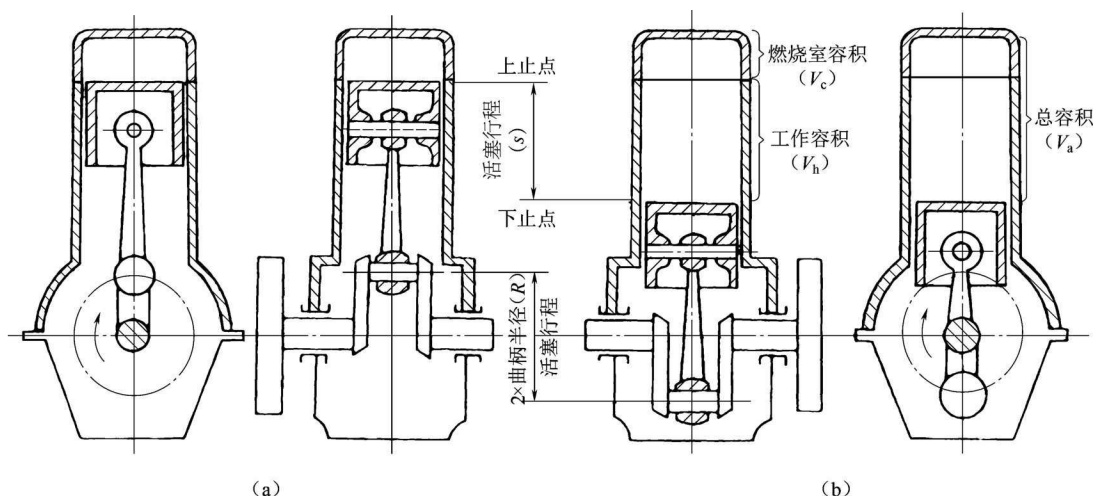


图 1-1 发动机的结构

(a) 活塞在上止点位置；(b) 活塞在下止点位置

4. 曲柄半径

曲轴上连杆轴颈轴线与曲轴主轴颈轴线（曲轴回转中心）之间的距离称为曲柄半径。一般用 R 表示。活塞行程为曲柄半径的 2 倍，即 $s = 2R$ 。

5. 气缸工作容积

活塞从一个止点运动到另一个止点所扫过的容积称为气缸工作容积或气缸排量，一般用 V_h 表示，单位 L。

6. 燃烧室容积

活塞在上止点时，活塞顶与气缸盖之间的容积称为燃烧室容积，一般用 V_c 表示，单位 L。

7. 气缸总容积

活塞在下止点时，活塞顶与气缸盖之间的容积称为燃烧室容积，一般用 V_a 表示，单位 L。显然，气缸总容积是气缸工作容积与燃烧室容积之和，即

$$V_a = V_c + V_h$$

8. 发动机排量

多缸发动机各气缸工作容积的总和称为发动机排量，一般用 V_L 表示，单位 L，即

$$V_L = V_h i$$

式中： i ——发动机气缸数目。

9. 压缩比

气缸总容积与燃烧室容积之比为压缩比，一般用 ε 表示，即

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

压缩比表示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。压缩比越大，压缩终了时气缸内气体的压力和温度越高，燃烧速度越快，发动机功率增大，热效率高，经

济性好。但是压缩比过大，发动机会产生爆燃和表面点火等不正常燃烧情况。通常，汽油机的压缩比为 6 ~ 10（个别情况有高达 10 以上的），柴油机压缩比为 15 ~ 22。

10. 工作循环

在气缸内每完成一次热能与机械能的转换，所经历的一系列连续过程称为发动机的一个工作循环。

（四）发动机的工作原理

现代汽车多采用的是四冲程往复循环式内燃机，本书后文对发动机无特殊说明，便是指该种发动机。下面我们就以四冲程汽油机为例，来讲解发动机的工作原理。

为使发动机产生动力，必须先将燃料和空气送入气缸，经点火后使之燃烧产生热能，以气体为工作介质推动活塞，再经过连杆使曲轴旋转，使热能转化为机械能，最后将燃烧后的废气排出气缸。至此，发动机完成一个工作循环。此循环周而复始地进行，发动机便产生连续的动力。

四冲程发动机每完成一个工作循环需经过进气、压缩、做功和排气四个行程。四冲程汽油机工作原理如图 1-2 所示。

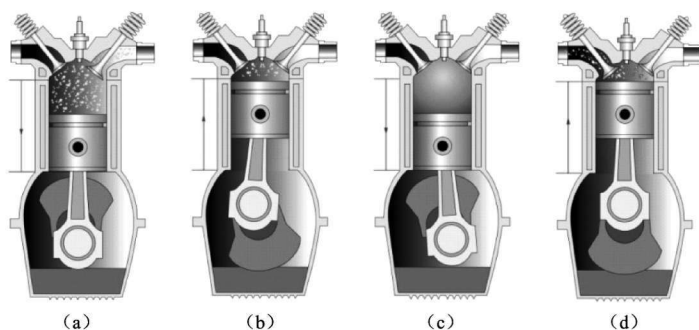


图 1-2 四冲程汽油机工作原理

(a) 进气；(b) 压缩；(c) 做功；(d) 排气

1. 进气行程

在进气行程中，活塞在曲轴带动下由上止点向下止点运行，这时进气门开启，排气门关闭。在活塞由上止点向下止点运动的过程中，活塞上方气缸容积逐渐增大，压力降低到小于大气压力，形成一定的真空度。这样，可燃混合气通过进气门被吸进气缸，直到活塞到达下止点时，进气行程结束。

2. 压缩行程

为了使可燃混合气能迅速、完全、集中地燃烧，使发动机能发出更大的功率，燃烧前必须将可燃混合气压缩。

在进气行程终了时，活塞在曲轴的带动下由下止点向上止点运动，此时进、排气门均处于关闭状态。在压缩行程中，活塞上方气缸容积逐渐减小，进入气缸内的可燃混合气被压缩，温度和压力不断升高，直到活塞到达上止点时，压缩行程结束。

3. 做功行程

当活塞运动到接近于压缩行程上止点附近时，火花塞在高电压作用下产生电火花，点燃

被压缩的可燃混合气。可燃混合气燃烧后，放出大量的热能，使缸内混合气温度和压力急剧升高，同时高温高压气体迅速膨胀，推动活塞由上止点向下止点运动，并通过连杆带动曲轴旋转输出机械能。能量除了维持发动机本身继续运转消耗一部分外，其余部分都用于对外做功，直到活塞到达下止点时，做功行程结束。

4. 排气行程

可燃混合气燃烧后生成的废气，必须从气缸中排出，以便进行下一个进气行程。

做功行程结束后，进气门关闭、排气门开启，活塞在曲轴的带动下由下止点向上止点运动，气缸内的废气经排气门排出，直到活塞到达上止点时，排气行程结束。

排气行程结束后，进气门再次开启，又开始下一个工作循环。如此周而复始，发动机连续输出动力。

5. 四冲程发动机的工作特点

(1) 每完成一个工作循环曲轴转 2 圈 (720°)，每一个行程曲轴转半圈 (180°)。进气行程中进气门开启，排气门关闭；排气行程中，排气门开启，进气门关闭；其余两个行程进、排气门均关闭。

(2) 四个行程中，只有做功行程产生动力，其余三个行程则是为做功行程做准备的辅助行程，虽然都需要消耗动力，但确是必不可少的。

(3) 发动机起动时（第一个工作循环），必须借助外力带动曲轴旋转完成进气、压缩行程，在混合气着火做功行程开始后，依靠曲轴和飞轮存储的能量自行完成以后的行程，发动机进入正常运转状态。

(4) 对于多缸四冲程发动机，每一个气缸所有的工作过程完全相同，并按上述同样的次序完成每个行程，但并不是所有气缸的做功行程同时发生。对于多缸四冲程发动机来说，曲轴每转两周，各缸分别做功一次，且各缸做功间隔角（以曲轴转角表示）保持一致。对于缸数为 i 的发动机而言，做功间隔角为 $720^\circ/i$ 。气缸数越多，发动机工作越平稳，但同样会增加发动机尺寸及质量，结构也更加复杂。

（五）发动机的总体构造

发动机是汽车的“心脏”，是由多个机构和系统组成的复杂机器，如图 1-3 所示。现代汽车发动机的结构形式很多，即使是同一类型的发动机，其具体结构也各不相同，但不论是哪种类型的发动机，其基本结构都是相似的。通常发动机由两大机构和五大系统组成，“两大结构”指曲柄连杆机构和配气机构；“五大系统”指燃料供给系统、冷却系统、润滑系统、启动系统和点火系统。下面以桑坦纳 2000GSI 轿车 AJR 发动机的外形（见图 1-7）和纵剖视图（见图 1-4）来介绍发动机的基本构造。

发动机的机体组主要由气缸盖、气缸盖罩盖、气缸体及油底壳等组成。气缸盖和气缸体的内壁共同组成燃烧室的一部分，是承受高温、高压的机件。机体组作为整个发动机的“骨架”，其本身的许多部分又分别是曲柄连杆机构、燃料供给系统、冷却系统和润滑系统的组成部分。在进行结构分析时，常把机体列为曲柄连杆机构。有的将机体组分铸成上、下两部分，上部称为气缸体，下部称为曲轴箱。

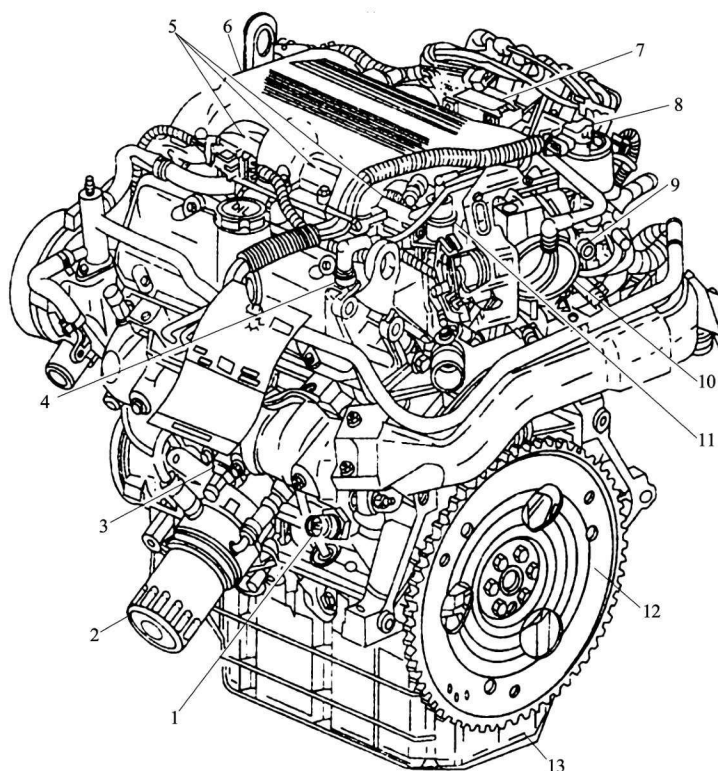


图 1-3 发动机总体结构

1—机油压力开关；2—机油滤清器；3—爆震传感器；4—PCV 阀；5—燃油管；6—缸盖罩；7—MAP 传感器；
8—EGR 阀；9—节气门位置传感器；10—节气门体；11—燃油压力传感器；12—飞轮；13—油底壳

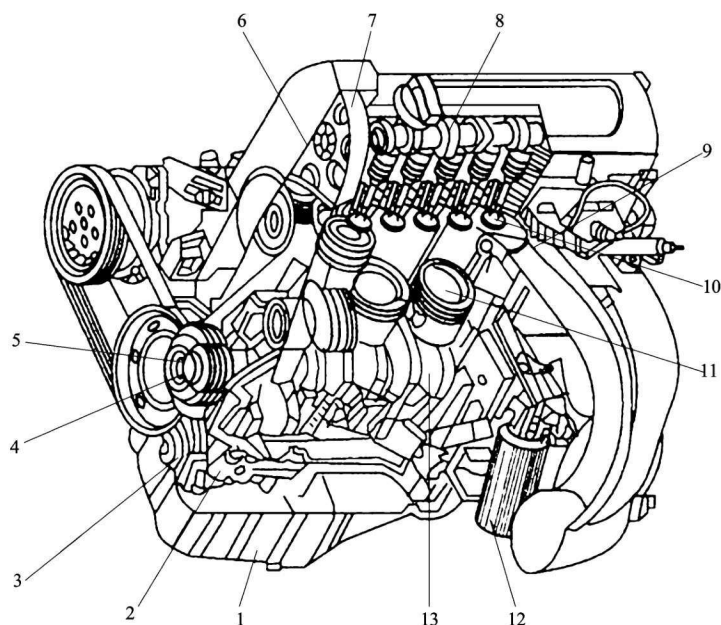


图 1-4 AJR 发动机的纵剖视图

1—油底壳；2—机油泵；3—机油泵链；4—水泵；5—曲轴正时齿形带轮；6—凸轮轴正时齿带轮；
7—正时齿形带；8—凸轮轴；9—喷油器；10—气门；11—活塞；12—机油滤清器；13—曲轴

1. 曲柄连杆机构

曲柄连杆机构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结构。其主要由活塞、连杆、曲轴和飞轮等组成（见图 1-5）。

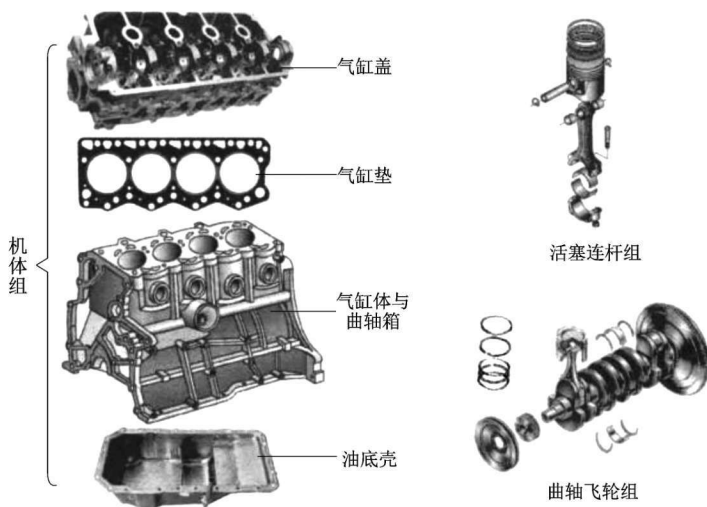


图 1-5 曲柄连杆机构

2. 配气机构

配气机构的作用是根据发动机的工作需要，适时地打开进气通道或排气通道，使可燃混合气体及时地充入气缸，或使废气及时地从气缸内排出；而发动机不需要进气或排气时，则将进、排气通道关闭，保持气缸的密封性。

配气机构主要由进气门、排气门、气门弹簧、气门锁片、凸轮轴、挺柱等零部件组成（见图 1-6）。

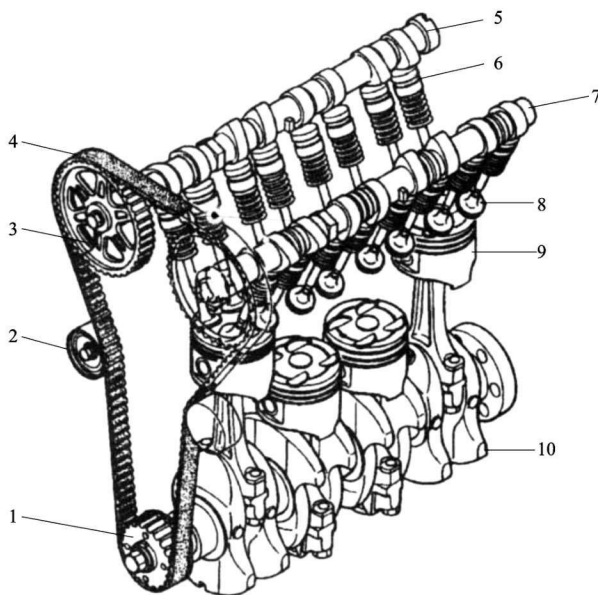


图 1-6 配气机构

- 1—曲轴正时齿轮；2—张紧轮；3—凸轮轴正时齿轮；4—正时齿形带；5—凸轮轴；
6—液压挺柱；7—凸轮轴；8—气门；9—活塞；10—曲轴

3. 燃料供给系统

燃料供给系统的作用是向气缸内供给已混合好的可燃气体（缸内喷射式发动机为空气），并控制进入气缸内的可燃混合气的数量，以调节发动机输出功率和转速，最后将燃烧的废气排出气缸。

燃料供给系统主要由油箱、油泵、节气门体、供油管、喷油器、空气滤清器和进气歧管等组成。

4. 冷却系统

冷却系统的作用是利用冷却介质对高温零件进行冷却，并将热量散发到大气中去，以保证发动机在最适宜的温度下工作。

冷却系统主要由水泵、散热器、风扇、节温器和水套等组成。

5. 润滑系统

润滑系统的作用是将清洁的润滑油不断地送至做相对运动的零件表面，以减小摩擦和磨损，同时清洗、冷却摩擦表面，从而延长发动机的使用寿命。

润滑系统主要由机油泵、机油滤清器、机滤器、润滑油道、机油标尺和油底壳等组成。

6. 起动系统

起动系统的作用是带动飞轮旋转以获得必要的动能和起动转速，使静止的发动机起动并转入自行运转状态。

起动系统主要包括起动机及其附属装置。

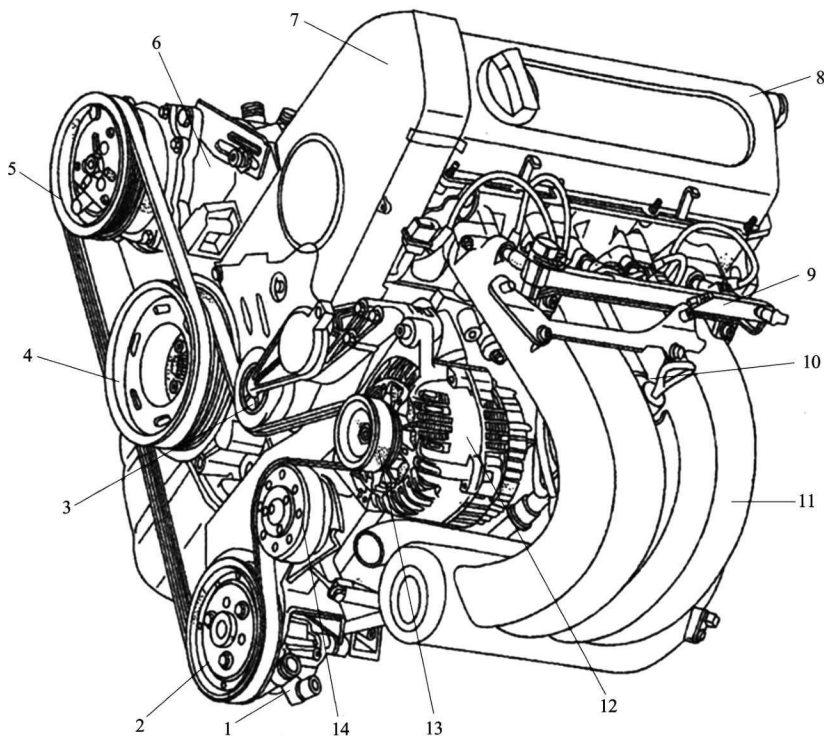


图 1-7 AJR 发动机外形图

1—动力转向泵；2—动力转向泵带轮；3—张紧轮；4—曲轴带轮；5—空调压缩机带轮；6—空调压缩机；7—正时齿形带护罩；8—气缸盖罩；9—燃油分配管；10—机油尺；11—进气歧管；12—发电机；13—发动机带轮；14—导向轮

7. 点火系统

点火系统的作用是保证在规定时刻向气缸内提供电火花，及时地点燃气缸中被压缩的可燃混合气。

点火系统主要包括蓄电池、点火开关、点火线圈和火花塞等。

三、项目实施

任务 气缸压力检测

(一) 情景导入

司机驾车在行驶过程中，出现动力不足、怠速不稳、行驶无力、加速性能差的情况，开到4S店，要求维修技师对发动机进行评价。

发动机提供整个车辆所需的动力，发动机性能的好坏直接影响着车辆的使用状况。影响发动机技术状况好坏的最根本原因就是气缸密封性能下降，而检测气缸密封性能最简单、有效的方法是检测气缸压力。所以维修人员决定通过检测并分析气缸压力来评价此车的发动机性能。

(二) 实施目的及要求

- (1) 能够通过查阅维修手册和计算与实际气缸内部压力进行对比。
- (2) 能够通过实际操作掌握相关测量、拆卸工具的正确使用方法。
- (3) 能够通过实际操作掌握发动机气缸压力的测量方法。
- (4) 能够根据测量、查询和计算得出的数据对发动机进行评价。

(三) 实施步骤

1. 测试前准备

- (1) 车辆正确摆放，做好车辆防护工作，如图1-8所示。



(a)



(b)

图 1-8 气缸压力检测 (一)

(2) 检查蓄电池电压，保证电量充足，如图 1-9 所示。

(3) 确认起动机性能正常，如图 1-10 所示。

(4) 运转发动机，冷却液温度达到正常工作温度，如图 1-11 所示。

(5) 保证空气滤清器清洁。

(6) 为了防止在检测过程中喷油器持续喷油和点火，需要拔掉点火线圈插头和油泵保险或继电器，如图 1-12 所示。



图 1-9 气缸压力检测 (二)



图 1-10 气缸压力检测 (三)



图 1-11 气缸压力检测 (四)

(7) 拆卸发动机装饰盖，清洁发动机上部，取下高压线，依次拆下所有火花塞，如图 1-13 所示。



图 1-12 气缸压力检测 (五)



图 1-13 气缸压力检测 (六)

2. 测试数据

(1) 选择合适的接头将缸压表组装好，压力表读数归零并牢固地安装在火花塞孔上，如图 1-14 所示。

(2) 踩下加速踏板让节气门完全打开。

(3) 转动点火开关，使起动机运转 3~5 s (被测气缸至少运转 4 个压缩冲程)，待压力表指针指示并保持最大压力后停止，记录下数据，如图 1-15 所示。



图 1-14 气缸压力检测（七）



图 1-15 气缸压力检测（八）

- (4) 按下卸压阀，让指针归零。
- (5) 按此方法依次测量各缸，确保每缸不少于两次，每缸测量结果取平均值。
- (6) 测试过程中起动机运转时间不能过长或过短，时间过长会消耗电能和损坏起动机，时间过短则会达不到测试标准，如图 1-16 所示。



(a)



(b)

图 1-16 气缸压力检测（九）

(7) 测试完成后，按照与拆卸相反顺序装复所拆部件，将所有工具、设备归位，将实验室清理干净。

3. 数据分析

根据测得数据以及查询维修手册，完成表 1-1 的填写。

表 1-1 数据分析

项目	第一缸	第二缸	第三缸	第四缸	最大差值
第一次					
第二次					
平均值					
标准值					

那么同学们分析一下，什么原因可能造成气缸压力过低呢？

项目二

曲柄连杆机构

一、项目要求

（一）知识要求

- （1）了解曲柄连杆机构功用，掌握曲柄连杆机构组成，熟悉曲柄连杆机构的工作条件。
- （2）了解气缸体与曲轴箱组的作用和气缸体的结构形式，掌握气缸体与曲轴箱的各组成部分。
- （3）掌握曲柄连杆机构的拆装、测量要点。

（二）技能要求

- （1）能正确使用工具拆装曲柄连杆机构。
- （2）能够使用相关量具对曲柄连杆机构部件进行测量。
- （3）能够查阅维修手册，并根据测量结果正确制订修复计划。

二、相关知识

曲柄连杆机构是内燃机实现工作循环，完成能量转换的传动机构，用来传递力和改变运动方式。曲柄连杆机构在做功行程把活塞的往复运动转变为曲轴的旋转运动，对外输出动力；而在其他三个行程，即进气、压缩、排气行程中，又把曲轴的旋转运动转变为活塞的往复直线运动。曲柄连杆机构的零件分为机体组、曲轴飞轮组和活塞连杆组三部分。

（一）机体组的功用、组成与拆装

机体组是发动机的骨架，安装着发动机所有主要零部件和附件。它主要由气缸体、曲轴箱、气缸垫和油底壳等零部件组成，如图 2-1 所示。

1. 气缸盖

气缸盖安装在气缸体上面，从上不密封气缸，并于活塞顶部和气缸壁一起构成燃烧室。它经常与高温高压混合气相接触，承受很大的热负荷和机械负荷。水冷发动机的气缸盖内部有冷却液套，缸盖下端面的冷却液孔与缸体的冷却液孔相通，利用循环水冷却燃烧室等高温部分。

缸盖上还装有进、排气门座和气门导管孔，用于安装进、排气门及进、排气通道等。汽