

汽车新技术系列教材
QICHE XINJISHU XILIE JIAOCAI

QIYOU ZHIPEN FADONGJI JIEGOU YU JIANXIU

汽油直喷发动机

结构与检修

QIYOU ZHIPEN FADONGJI JIEGOU YU JIANXIU

汽车新技术系列教材

汽油直喷发动机结构与检修

中国劳动社会保障出版社

图书在版编目(CIP)数据

汽油直喷发动机结构与检修/杨庆彪主编. —北京:中国劳动社会保障出版社, 2010
汽车新技术系列教材

ISBN 978 - 7 - 5045 - 8403 - 8

I. ①汽… II. ①杨… III. ①汽车-汽油机-构造②汽车-汽油机-检修 IV. ①U464. 171
②U472. 43

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 136649 号

中国劳动社会保障出版社出版发行

(北京市惠新东街1号 邮政编码:100029)

出版人:张梦欣

*

北京金明盛印刷有限公司印刷装订 新华书店经销

787 毫米×1092 毫米 16 开本 9.5 印张 2 插页 224 千字

2010 年 7 月第 1 版 2010 年 7 月第 1 次印刷

定价:18.00 元

读者服务部电话:010 - 64929211/64921644/84643933

发行部电话:010 - 64961894

出版社网址:<http://www.class.com.cn>

版权专有 侵权必究

举报电话:010 - 64954652

如有印装差错,请与本社联系调换:010 - 80497374

前言

随着汽车工业的发展，汽车电子技术、新能源技术以及检测与维修技术逐渐成为汽车技术发展的热点。自 20 世纪 50 年代汽车技术与电子技术开始结合以来，电子技术在汽车工业中的应用范围越来越广，尤其是近十年，电子技术在汽车工业中迅速发展，汽车电子控制系统提高了汽车的动力性、经济性、安全性、舒适性。在汽车新能源方面，随着世界能源危机和环保问题日益突出，世界各大汽车公司纷纷致力于开发新能源与新燃料汽车，近几年柴油电控发动机和混合动力车辆已经大批量生产，新能源汽车获得了长足发展。随着汽车技术的发展，特别是电子技术、计算机技术在汽车上的应用，汽车故障诊断从传统的听、看、闻等经验诊断方式，向以集成化、智能化的诊断设备为手段，以信息技术为依托的现代汽车故障诊断技术发展。

面对汽车新电器、新能源及诊断维修技术三方面的迅猛发展，传统教材已经无法满足培养技术、维修人员的实际需求。在汽车新电器培训教材之后我们组织开发了汽车新能源培训教材，包括《电控柴油发动机结构原理与维修》《混合动力汽车结构原理与维修》《汽油直喷发动机结构与检修》三本，以后还要陆续开发汽车诊断维修培训教材等。

随着新能源车辆的不断增多，国内的很多从业人员意识到要抓紧时间学习新能源的相关内容，而国内关于新能源发动机的维修参考资料还很少，能够直接利用到修车的资料就更加少，编写此套书的目的主要是为了把新能源发动机的维修知识做透彻讲解，为从业人员提供良好的学习机会，为维修人员提供及时的资料信息，以便能解决实际维修故障。

本系列培训教材适合汽车维修从业人员培训使用，尤其适合作为汽车技术培训高级班学生用教材，也可作为职业院校教师参考用书。

人力资源和社会保障部教材办公室

简介

传统发动机采用向进气道喷油的方式，混合气在进气管内进行混合，并一起进入燃烧室内。为了进一步提高发动机的燃油经济性及整体性能，开始引入发动机汽油直喷技术。其实对燃油直喷技术我们并不陌生，柴油发动机采用的就是柴油直喷技术，因而柴油发动机具有省油、动力性强的优点。为了提高汽油发动机的性能，人们开始研究汽油直喷发动机。在这种发动机上，所需要的燃油是按精确需求量在指定时刻到达指定位置，发动机多采用稀混合气。目前越来越多的汽车企业推出了新型的汽油直喷发动机。

本书首先介绍了汽油直喷发动机的原理、特点以及工作模式等，然后对国内常见的大众、奥迪以及宝马几大厂商的汽油直喷发动机进行了详细的讲解。

本书注重图文结合对内容进行充分生动的讲解，采用大量各车型的位置图、结构图、原理图、电路图，配合必要的文字进行讲解，对各系统进行充分描述。

本书采用先讲系统组成、元件位置、元件结构与工作原理，再讲系统的工作过程、电路控制与电路分析，要求在理解结构原理的基础上再进一步升华，引导读者对各系统进行充分必要的认识。

本书由杨庆彪主编，付亚军、杨兆春、郭庆林、蒋万岭、高仲兰、史学芝、张素梅、杨光、段志东、刘秀丽、郭涛、祖影春、杨露、杨颖华、刘志国、郭婕、宁建涛、顾金兰、张贺平、张涛参与编写。主审郭涛。

目录

CONTENTS

■第一章 汽油直喷发动机 (FSI) 简介

1 // 第一节 FSI 基本原理与工作模式

5 // 第二节 FSI 发动机的特点

8 // 第三节 发动机机械部分

16 // 第四节 进气系统

19 // 第五节 燃油系统

■第二章 大众轿车 FSI 发动机

26 // 第一节 大众宝来途安四缸 FSI 发动机

46 // 第二节 大众迈腾 V6 FSI 发动机

■第三章 奥迪轿车 FSI 发动机原理与维修

86 // 第一节 奥迪 A4 2.0L TFSI 涡轮增压发动机

97 // 第二节 奥迪 A6 FSI 发动机

■第四章 宝马轿车 HPI 高精度喷射发动机

113 // 第一节 N54 HPI 高精度喷射发动机

134 // 第二节 N63 HPI 高精度喷射发动机

第一章

汽油直喷发动机 (FSI) 简介.....

第一节

FSI基本原理与工作模式

传统的汽油发动机上使用的是均质空气—燃油混合气，而使用汽油直喷装置的发动机却可在部分负荷范围内采用专门的分层充气法来工作，这种方法使用过量的空气，所以其混合气较稀。

FSI 发动机工作模式有两种，即分层充气模式和均质混合气模式，均质混合气模式又可以分为均质稀混合气模式和均质混合气模式两种。这些工况共同组成了 FSI 这个概念。可通过读取测量数据块来认识这些工况。

一、分层充气模式

分层充气模式是 FSI 发动机最有特色的工作状态，也是燃油经济性得到提高的主要工作状态之一。要想实现分层充气，喷射装置、燃烧室形状和气缸内气流的流动都要进行优化，另外还要满足一些附加的条件。这包括：

- 发动机的负荷和转速要在相应范围内，一般在低负荷时。
- 系统内没有与排气系统相关的故障。
- 冷却液温度高于 50°C 。
- NO_x 存储式催化净化器温度必须在 250°C 以上。
- 进气歧管翻板必须关闭。

低负荷及部分负荷时发动机节气门部分打开，进气歧管翻板封住下进气道，于是空气运动加速，吸入的空气呈旋转状进入气缸，如图 1—1—1、图 1—1—2 所示。

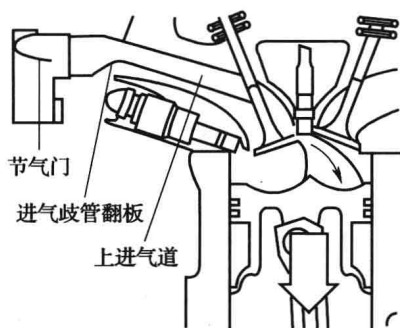


图 1—1—1 进气歧管翻板的状态

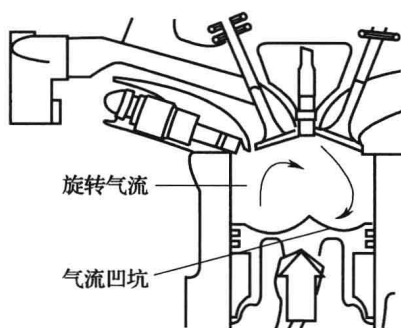


图 1—1—2 进气呈旋涡状加速

喷油时刻处于压缩行程，这是 FSI 发动机与传统发动机工作的最大区别之一。传统发动机的喷油时刻是在进气行程中，FSI 发动机喷油时刻开始于压缩行程上止点前约 60° ，喷油结束于压缩行程上止点前约 45° ，燃油被喷射到燃烧室活塞顶的燃油凹坑内，喷油时刻对混合气的形成有很大影响。混合气形成只发生在 $40^{\circ} \sim 50^{\circ}$ 曲轴角之间，如果曲轴角小于这个范围，无法点燃混合气；如果曲轴角大于这个范围，混合气就变成均质充气了，如图 1—1—3 所示。

混合好的气雾被点火燃烧。其周围的气体起隔离作用，缸壁热损耗小，热效率提高了，点火时刻范围窄，如图 1—1—4 所示。

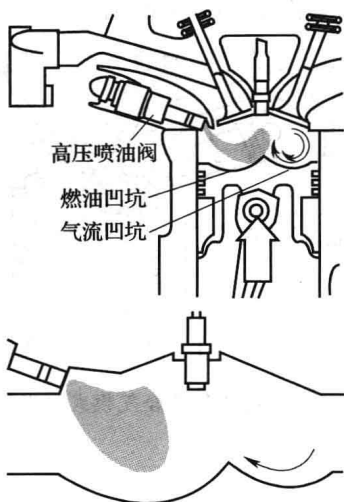


图 1—1—3 分层充气模式的喷油时刻在
压缩行程接近上止点处

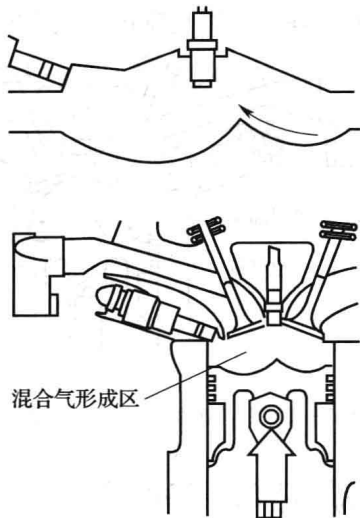


图 1—1—4 气缸壁附近的混合气不燃烧

注意分层充气模式节气门不能完全打开,因为总是得保持一定的真空(用于活性炭罐装置和废气再循环装置),发动机所产生的扭矩大小只取决于喷油量,在这里吸入的空气量和点火角并没有多大关系。

二、均质稀混合气模式

均质稀混合气模式的进气情况与分层充气模式相同,节气门打开,进气歧管翻板关闭,如图 1—1—5 所示。

与分层充气模式不同的是,均质稀混合气模式的燃油喷射时刻在进气行程中,均质稀混合气模式的喷油时刻与传统汽油发动机基本相同,过量空气系数 λ 约为 1.55,如图 1—1—6 所示。

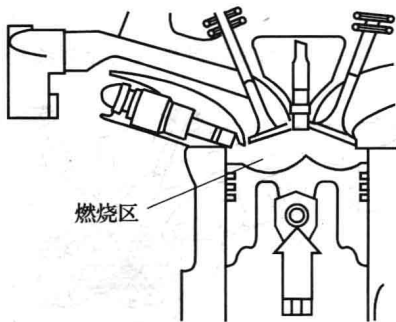


图 1—1—5 均质稀混合气模式的进气状态

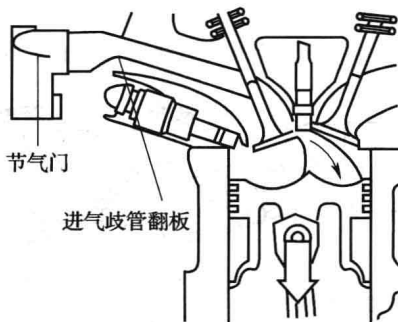


图 1—1—6 喷油时刻处于进气行程

由于均质稀混合气模式的喷油时刻与传统汽油发动机基本相同,在进气行程中喷油,空气与燃油的混合气形成时间较长,如图 1—1—7 所示。

燃烧发生在整个燃烧室内，点火时刻可自由选择，如图 1—1—8 所示。

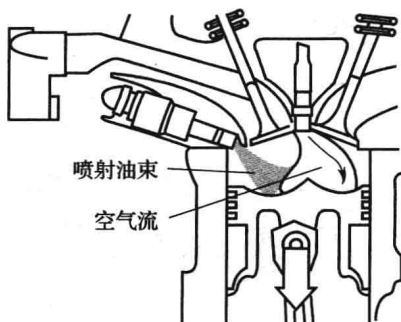


图 1—1—7 混合气形成的时间长

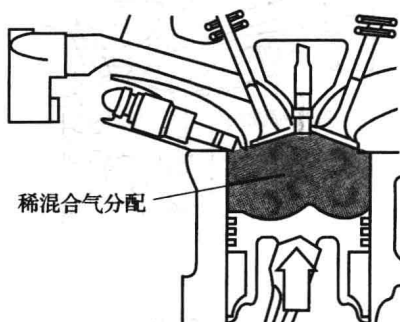


图 1—1—8 均质稀混合气模式的燃烧区域

三、均质混合气模式

在发动机处于高负荷和高转速及急加速时一般采用均质混合气模式，进气歧管翻板根据工作点来打开或关闭。在高转速和高负荷时，一般进气歧管翻板处于打开状态，以满足进气需求，在中等负荷和中等转速范围时是关闭的，如图 1—1—9 所示。

喷油时刻与传统发动机一样也是在进气行程，混合气形成时间长，与均质稀混合气模式是一样的，过量空气系数 $\lambda = 1$ ，即空燃比处于 14.7 附近，即理论空燃比附近，如图 1—1—10 ~ 图 1—1—12 所示。

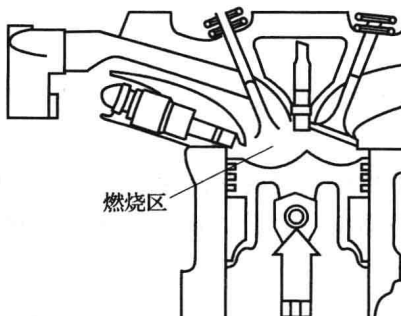


图 1—1—9 中负荷时进气歧管翻板关闭

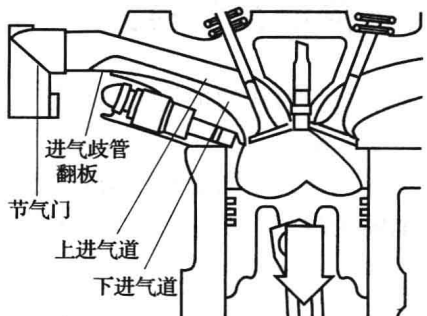


图 1—1—10 高负荷时进气歧管翻板打开

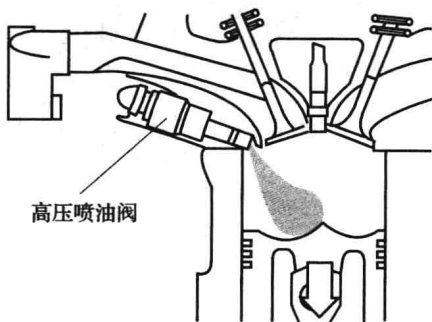


图 1—1—11 进气行程中开始喷油

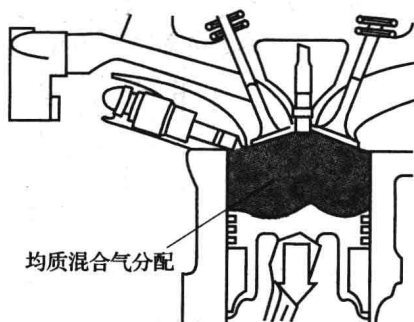


图 1—1—12 均质混合气燃烧区域

第一章 汽油直喷发动机（FSI）简介……

第二节 FSI发动机的特点

一、汽油直喷系统的优点

使用 FSI 汽油分层直喷技术, 发动机将使用稀混合气, 可以节省燃油, 燃油经济性得到很大提高。

发动机工作过程中, 节气门一般都处于打开的状态, 在分层充气模式和均质稀混合气模式时过量空气系数 λ (过量空气系数, 下同) 分别为 3 和 1.55 (空燃比都大于 14.7), 进一步将节气门打开, 可以减少进气阻力, 如图 1—2—1 所示。

在分层充气模式时发动机的 λ 值为 1.6~3, 在均质稀混合气模式时 λ 约为 1.55, 使用稀混合气, 可以降低燃油消耗, 明显提高发动机的经济性能, 如图 1—2—2 所示。

由于分层充气模式的燃烧只发生在火花塞附近, 所以缸壁上的热损耗较少, 热效率得到提高, 避免了不必要的发动机的温度提升, 如图 1—2—3 所示。

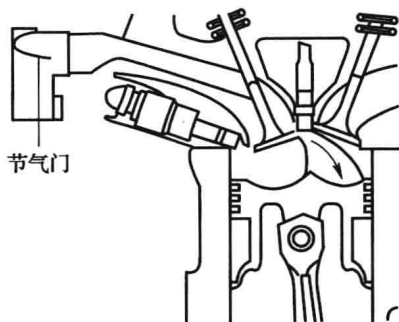


图 1—2—1 节气门的状态

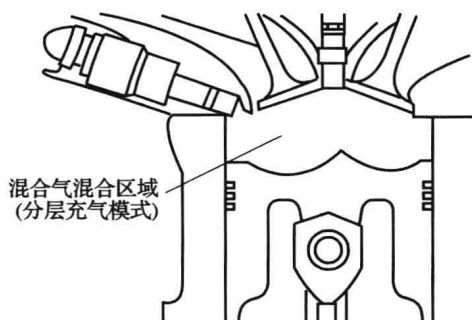


图 1—2—2 稀混合气状态

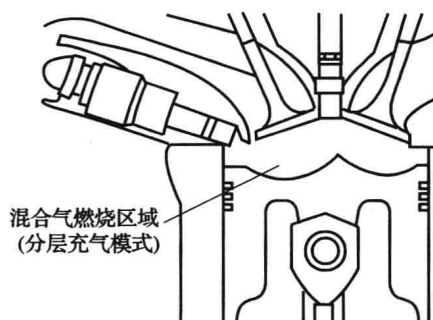


图 1—2—3 FSI 的燃烧区域

强制分层充气可使废气再循环率高达 35%。废气再循环在分层充气模式下总是工作的, 在均质混合气模式中转速低于 4 000 r/min 且中等负荷时投入工作, 在怠速时不工作。另外, 吸入的空气通过直接喷入燃烧室来冷却, 降低了发动机发生爆震的可能性, 因此, 发动机压缩比可以进一步提高。

而且在变速器转速恢复到低于发动机转速的过程中, 气缸壁不会沉积燃油。所以燃油基本上被完全转化成可用能量了, 即使在恢复转速较低时, 发动机也能稳定运行。

二、汽油直喷系统的不足

1. NO_x 的排放 (见图 1—2—4)

发动机长期工作在稀混合气模式, 排气中 NO_x 含量较高。传统的三元催化净化器无法对

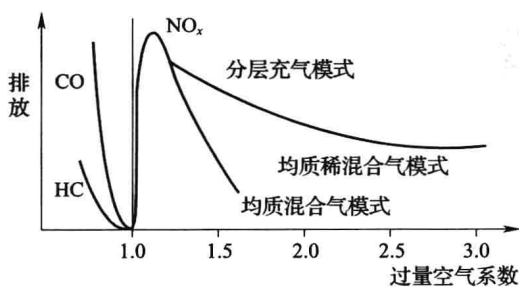


图 1—2—4 发动机排放情况

NO_x进行足够的转换，因此，研制了 NO_x存储式催化净化器，以满足欧IV排放标准。

2. 燃油中的硫成分

与 NO_x化学性质相似，硫也同样存储在 NO_x存储式催化净化器中，燃油中的硫越多，存储式催化净化器就必须更频繁地进行还原反应，这样会导致燃油消耗提高。

第一章

汽油直喷发动机（FSI）简介

第三节

发动机机械部分

一、发动机缸体

发动机缸体采用铝合金制成, 铝合金的优点是降低了发动机的整体质量, 从而提高了发动机功率的利用, 进一步提高了发动机的经济性。发动机缸体分“开式结构”和“闭式结构”两种。“开式结构”的气缸套与缸体之间只有一点铸造连接处, 且呈松动状态。“闭式结构”的气缸套与缸体是铸造在一起的。为了增强刚度, 铝制曲轴箱设计成“闭式结构”, 如图 1—3—1 所示。

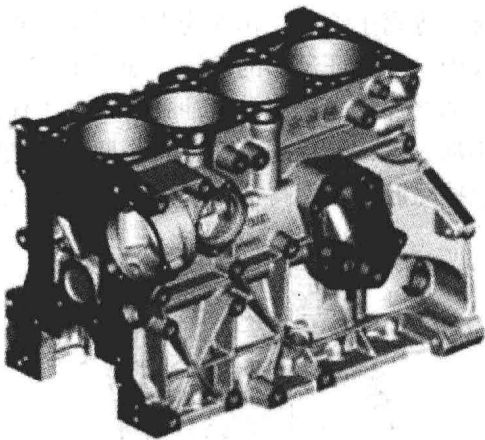


图 1—3—1 发动机缸体

1. 等离子涂膜

气缸工作表面采用等离子涂膜, 用于减小摩擦力和磨损。等离子涂膜与铸造气缸套相比, 质量可减轻 1 kg, 因为这个涂膜厚度只有 0.085 mm, 并可有效减小磨损。

等离子气体在流出时由电弧点燃, 等离子束温度约为 11 700°C, 速度最高可达 600 m/s, 等离子束中喷射的是涂层粉末 (50% 合金钢, 50% 钼), 涂层粉末被加热到约 2 500°C, 速度达到 150 m/s。

液态涂层会嵌入到缸壁的不平处, 这种动能会转换成塑性变形, 在固化后, 涂层和缸壁就形成良好的结合, 收缩应力还可产生与缸壁的附着力, 如图 1—3—2 所示。

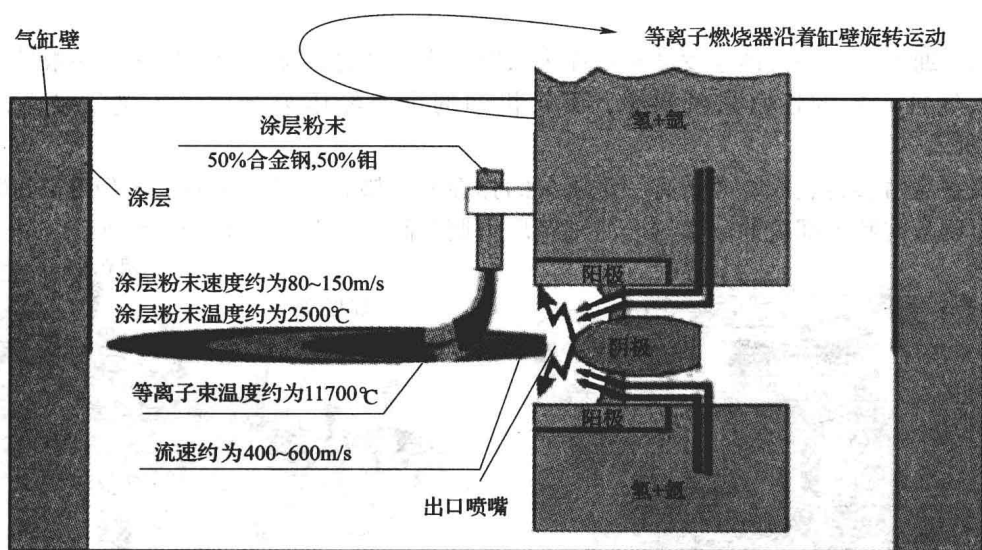


图 1—3—2 等离子喷涂的过程

2. 气缸工作面

无论是钢套气缸工作面，还是等离子涂层气缸工作面都要经过珩磨。钢制工作面是相连系统，等离子涂层工作面为微腔系统。相连系统会产生彼此相连的网纹，机油就保存在这些网纹中，以保证足够的润滑，如图 1—3—3 所示。

活塞环推来机油，机油就与气缸工作面接触（混合摩擦）。微腔系统的网纹的沟槽压印得不那么深，平坦的表面上有小凹坑，微腔就包含在等离子涂层中（不必加工）。机油存在于这些微腔中，使得活塞环浮起（液力润滑），如图 1—3—4 所示。

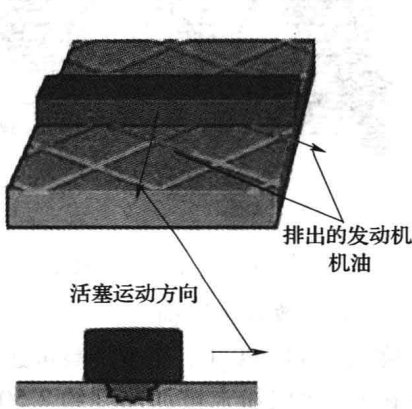


图 1—3—3 网纹可以保存机油

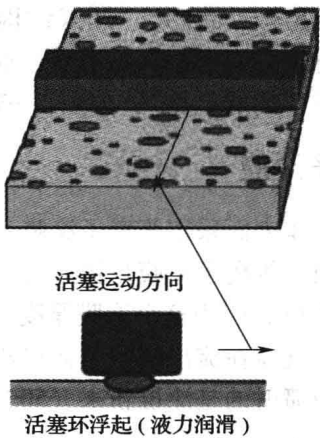


图 1—3—4 润滑示意图

二、曲轴箱通风

曲轴箱通风窜出的气体经发动机缸体进入第一个机油分离器，随后气体经一根外部连接软管进入气缸盖罩的迷宫式密封中，不含机油的窜气经压力阀被送入进气歧管，如图 1—3—5 所示。

气门室盖由塑料制成，并带有一个永久的弹性密封垫。气门室盖中包含有用于曲轴箱通风的压力调节阀和内部机油分离器。曲轴箱压力调节阀的位置如图 1—3—6 所示。

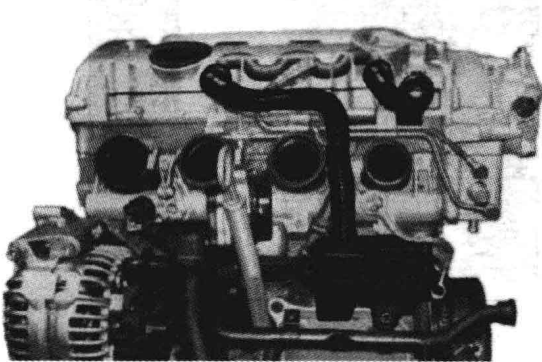


图 1—3—5 曲轴箱通风管路

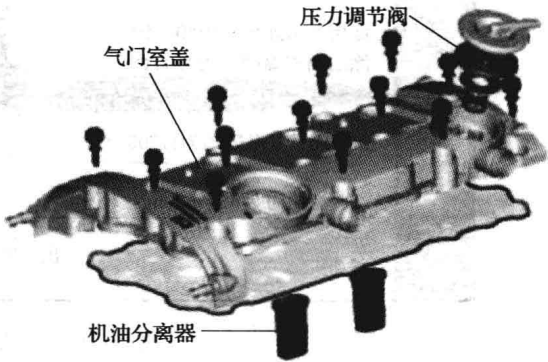


图 1—3—6 曲轴箱压力调节阀位置

曲轴箱压力调节阀用于保证曲轴箱内压力稳定以及曲轴箱通风,当真空度过高时,密封件会向内打开,污物就进入曲轴箱,如图1—3—7所示。

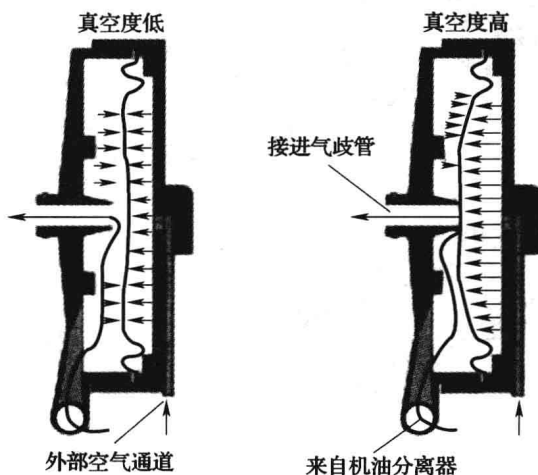


图 1—3—7 曲轴箱压力调节阀结构

三、活塞

活塞采用铝合金制成,结构轻巧,裙部无开槽,两侧活塞孔凸台离得很近,如图1—3—8所示。

摆动质量小且摩擦因数小,这是因为活塞裙部只有一部分在气缸壁上运行。活塞顶有一个凹腔,该腔在分层充气状态可将空气流向火花塞方向。活塞的几何结构可以使得空气流呈旋涡状运动,如图1—3—9所示。

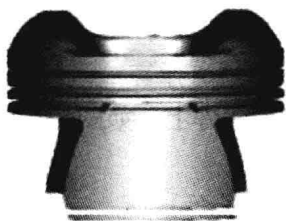


图 1—3—8 铝合金活塞

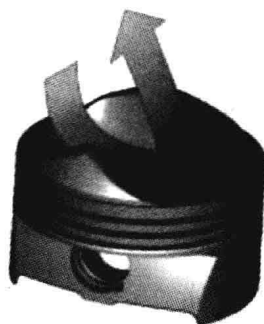


图 1—3—9 活塞可使进气呈旋涡状

四、气缸盖

采用四气门技术,气门由辘子摇臂来操纵,通过齿形带或正时链条来驱动,进气道由涡旋板分成上进气道和下进气道,如图1—3—10所示。