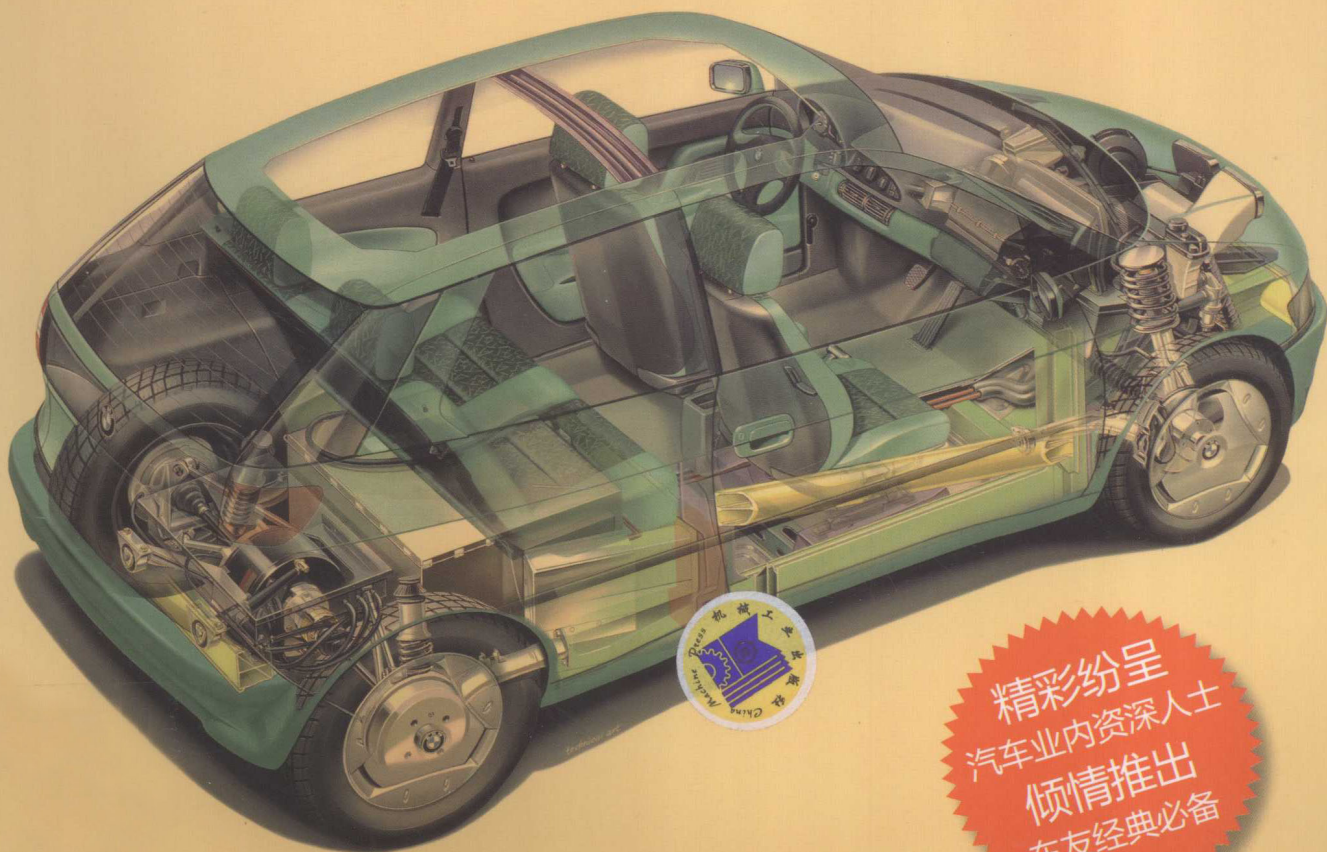




# 汽车源动力

图解汽车动力传动系统

林扬 编著



精彩纷呈  
汽车业内资深人士  
倾情推出  
车友经典必备

 机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS



# 汽车的动力

汽车的动力

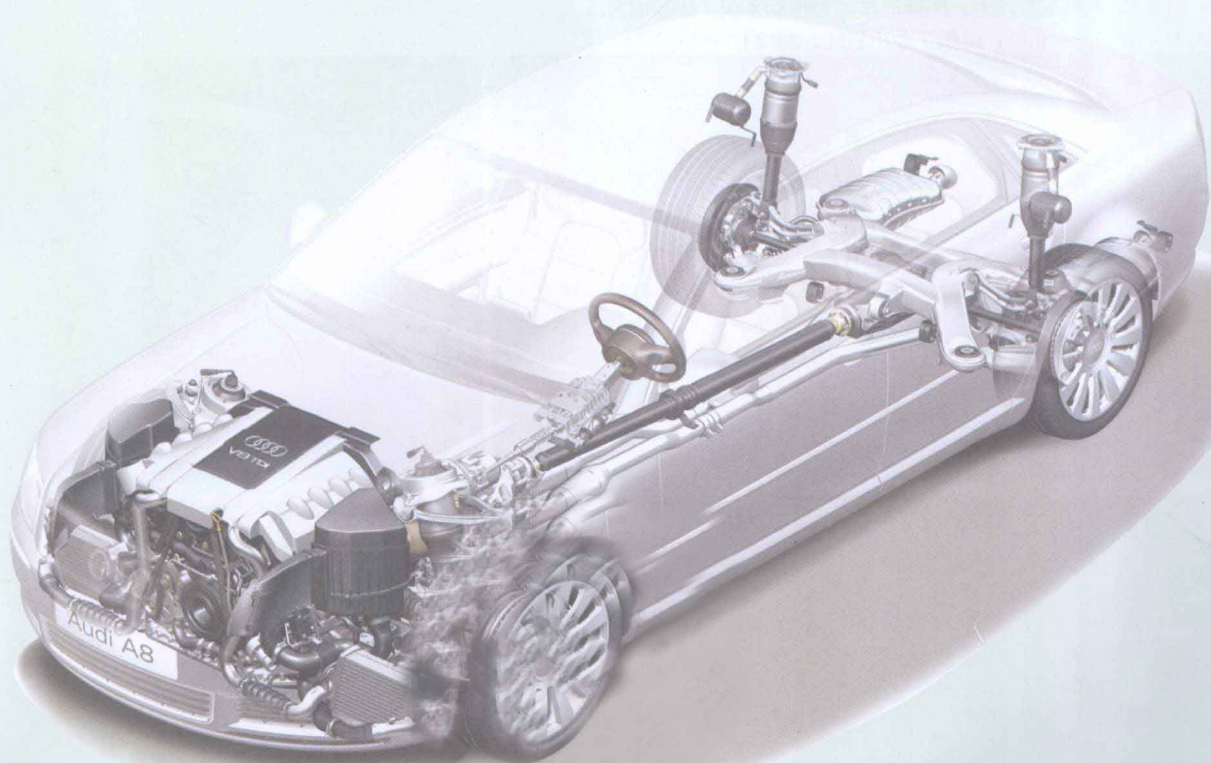
— —



# 汽车源动力

## 图解汽车动力传动系统

林扬 编著



 机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS

一辆车的好坏，动力传动系统起到了关键性的作用。在纷繁的术语和缭乱的前瞻技术之间如何取舍，想必是每个汽车消费者和爱好者必须考虑的问题。

本书以当前市场上主流的动力传动系统和未来动力为两条主线，以通俗易懂的文字向读者介绍了当今以至未来的汽车动力传动系统的大致状况。希望对有这方面爱好的读者有所帮助。

本书共分8个方面，包括主流发动机、特色动力发动机、变速器、气门控制、传统混合动力、插电混合动力及纯电动车和氢动力，基本涵盖了现阶段已知的先进动力传动系统。当然，文章内容也不是面面俱到，而是有所取舍，都是编者认为某一方面比较精华和有特点的部分。

#### 图书在版编目(CIP)数据

汽车源动力：图解汽车动力传动系统 / 林扬编著.

—北京：机械工业出版社，2012.1

ISBN 978-7-111-36714-7

I. ①汽… II. ①林… III. ①汽车—传动系—图解  
IV. ①U463.2-64

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第253414号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

责任编辑：李军 责任印制：乔宇

北京铭成印刷有限公司印刷

2012年3月第1版第1次印刷

184mm×260mm·9.5印张·250千字

0001-4000册

标准书号：ISBN 978-7-111-36714-7

定价：49.80元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心：(010) 88361066

门户网：<http://www.cmpbook.com>

销售一部：(010) 68326294

教材网：<http://www.cmpedu.com>

销售二部：(010) 88379649

读者购书热线：(010) 88379203

封面无防伪标均为盗版

# FOREWORD

## 前言

一辆车通常由动力传动系统、底盘系统和车身系统等几大总成组成，它们在行车过程中各自担负着不同的责任。如底盘系统决定了车辆基本的驾乘感受，车身系统决定着空间大小和乘员安全防护，而动力传动系统则决定着车辆的基本性能。

人们常说“发动机是汽车的心脏”，这个比喻十分恰当，因为发动机是整车的动力之源。不但驱动车辆前行的动力来自发动机，其灯光、空调、音响等一切舒适性、娱乐性的动力源泉也是来自发动机或称动力系统。

当然，一般情况下，发动机是不直接驱动车轮的。在发动机与车轮之间有复杂的动力传动系统，这其中变速器是关键的一环。从某种意义上讲，变速器更直接地决定了车辆的基本性能，同时又对诸如舒适性、节能环保，甚至对车辆的档次都有重要的影响。

在当今主流汽车市场上，内燃机占据着统治地位。虽然基本上都是遵循进气——压缩——做功——排气这样的工作循环，但各种机型无论在结构还是性能表现上都有较大差异。市场流行并具有某些前瞻意义的机型构成主流产品，它们性能突出、技术先进，成为引领行业的先锋。但也有一些虽然小众，但特点鲜明的机型，在某一领域或性能方面超越群雄，经常会引起关注。

内燃机经过100多年的发展，各方面相对已比较成熟，但技术进步依然在有条不紊地进行。在内燃机各部件中，气门控制相对比较重要，也是很多机型的卖点之一。对于消费者来说，从厂家的宣传中理清各种气门控制的特征显然是必要的。

虽然内燃机还是主要的汽车动力，但种种迹象表明，新能源汽车正逐渐向我们走来，它们中的先锋已经在影响我们的生活。在林林总总的新能源战略中，混合动力，包括插电混合动力、纯电动车和氢动力是最有希望，也是最被大家认可的。

未来，新能源经济一定会到来。

林扬

# 目 录

## CONTENTS

前言

### 第一章 主流发动机

1 FSI发动机	2
2 宝马直列6缸发动机	6
3 TDI发动机	8
4 大众TSI发动机	12
5 福特EcoBoost发动机	18
6 日产VQ系列发动机	20
7 通用Ecotec 1.4T发动机	26

### 第二章 特色动力发动机

1 新概念发动机	28
2 菲亚特TwinAir双缸发动机	30
3 HEMI发动机	31
4 斯巴鲁第三代水平对置发动机	34
5 宝马V12发动机	37
6 转子发动机和氢转子发动机	40

### 第三章 气门控制

1 VTEC系统	42
2 Valvetronic可变气门系统	44
3 MultiAir气门系统	46
4 日系气门控制的代表	49
5 VWEL可变气门升程系统	50

### 第四章 变速器

1 8档自动变速器	54
2 DSG变速器	57
3 福特 Powershift变速器	64
4 前置前驱8档自动变速器	65
5 日产新一代CVT变速器	66
6 马瑞利AMT变速器	68

### 第五章 传统混合动力

1 奔驰S400 HYBRID	72
2 本田IMA	76
3 丰田普锐斯	78
4 凯美瑞混合动力车	82
5 雷克萨斯混合动力车	85
6 君越轻混合动力车	88
7 双模混合动力车	94
8 宝马7系和X6混合动力车	100

### 第六章 插电混合动力

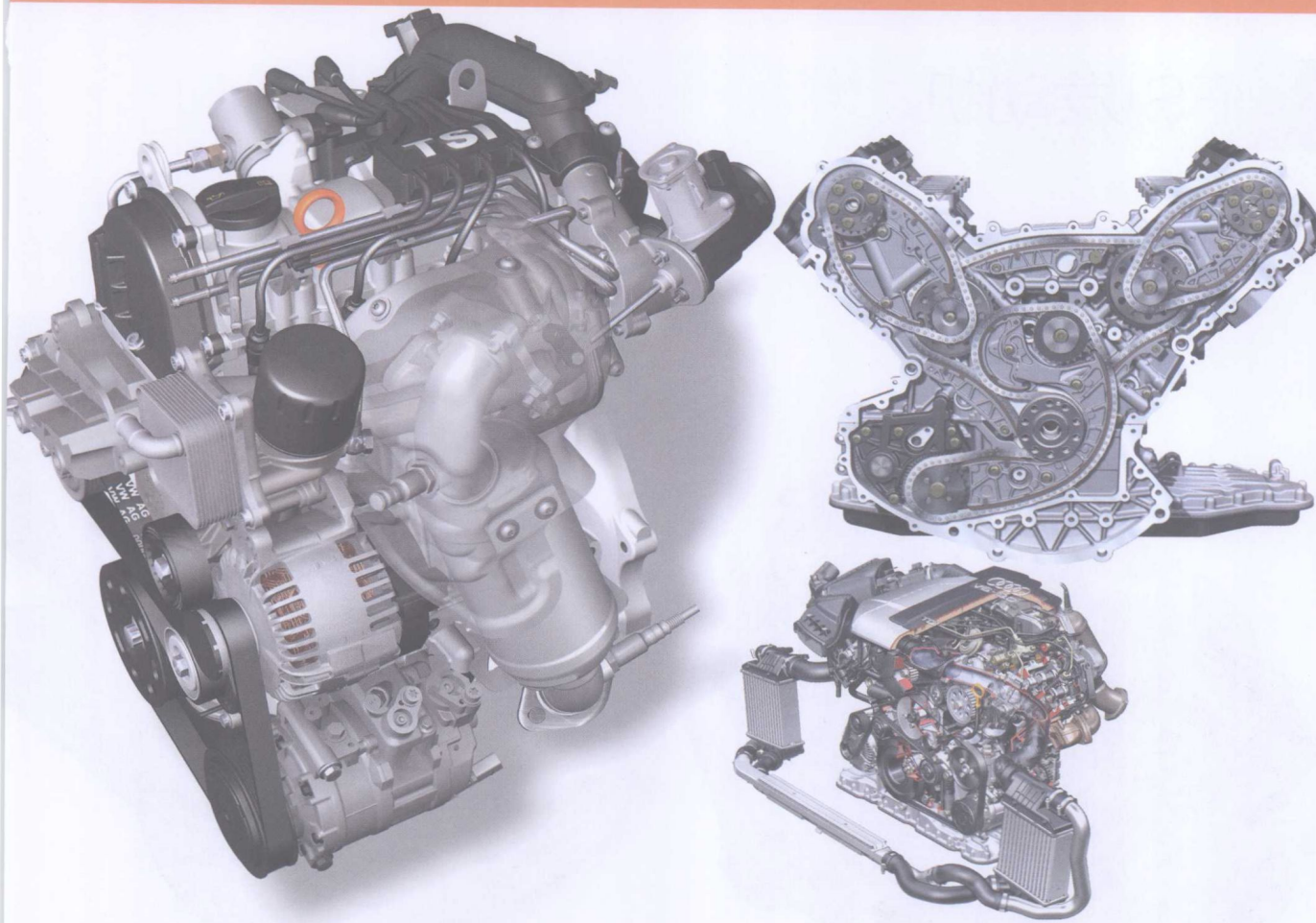
1 Vision 高效动力概念车	104
2 普锐斯插电混合动力车	106
3 比亚迪F3/F6双模混合动力车	108
4 通用沃兰达	109
5 奥迪A1 e-tron	115
6 沃尔沃V60插电式混合动力车	119

### 第七章 纯电动车

1 日产LEAF	122
2 宝马ActiveE概念车	124
3 迷你 E	126
4 标致EX1纯电动概念跑车	128
5 奥迪A3 e-tron纯电动车	129
6 中国设计——竹风	132

### 第八章 氢动力

1 创纪录的氢动力车	134
2 氢动7系	136
3 奔驰B级F-CELL燃料电池车	142
4 本田FCX	144
5 Sequel燃料电池车	146
6 德尔福燃料电池	148



## 第一章 主流发动机

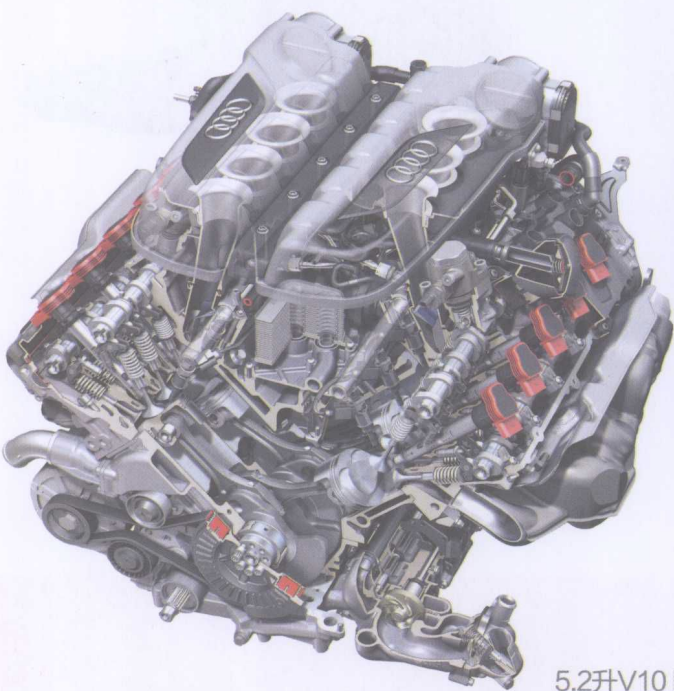
100多年来，汽车的主要动力系统是内燃机，包括汽油发动机和柴油机。绝大多数都属于四行程发动机，发动机工作分四个步骤：分别是进气、压缩、做功和排气。通过燃烧燃料，用把热能转换为机械能的方式驱动车辆。

虽然内燃机的技术在不断改善，但其基本原理和工作方式与100多年前还是相同的。在内燃机的发展历程中，人们首先不断发掘它们的动力潜力，不断追求高功率和高转矩。而随着人们对车辆舒适性要求的提高，发动机运转平顺性和工作稳定性也逐渐进入视野。20世纪70年代后，随着石油危机引发的能源短缺问题，发动机油耗成为引领技术方向的标杆。而近期环保浪潮让排放控制变成促进内燃机技术进步的又一驱动力。

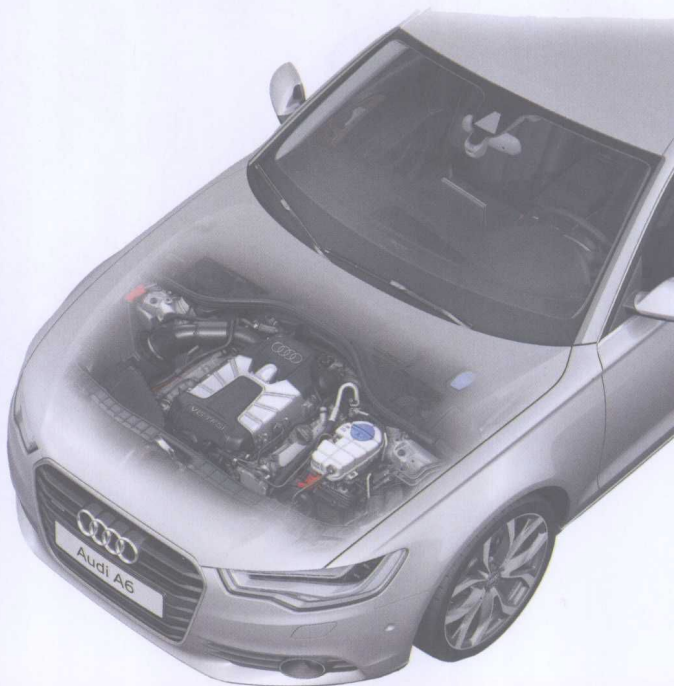
目前的主流发动机无一不是结合了优秀动力性、燃油经济性和环保控制的机型。它们在未来一段时间仍然是车辆的主宰。本篇中列举的是主流机型中的佼佼者，引领了行业的发展方向，成为消费者追逐和同业效仿的目标。

本文介绍的主流发动机产品包括大众TSI发动机、大众TDI发动机、奥迪燃油直喷汽油机、日产VQ系列发动机、宝马独具特色的直列6缸发动机、福特Ecoboost发动机以及通用小排量增压发动机。

# 1 FSI发动机



5.2升V10 FSI发动机



装TFSI的奥迪A6

FSI，它所代表的单词直译为燃油分层喷射，是大众集团直喷发动机的标志代码。FSI发动机的特征之一就是非凡的效率，排放满足现今严格的标准。与传统发动机相比，FSI技术能提升动力输出和动态响应，同时燃油消耗也有所降低。

当装载FSI发动机的奥迪R8赢得勒芒24小时赛车冠军时，FSI技术综合了动力和经济性的特征得到了最佳的发挥。在当时普遍存在的理论是：设计新发动机前首先要考虑偏重动力还是经济性，各种解决方案之间的差异也不会很大。

FSI发动机朝着工作效率方向前进了一大步，并开

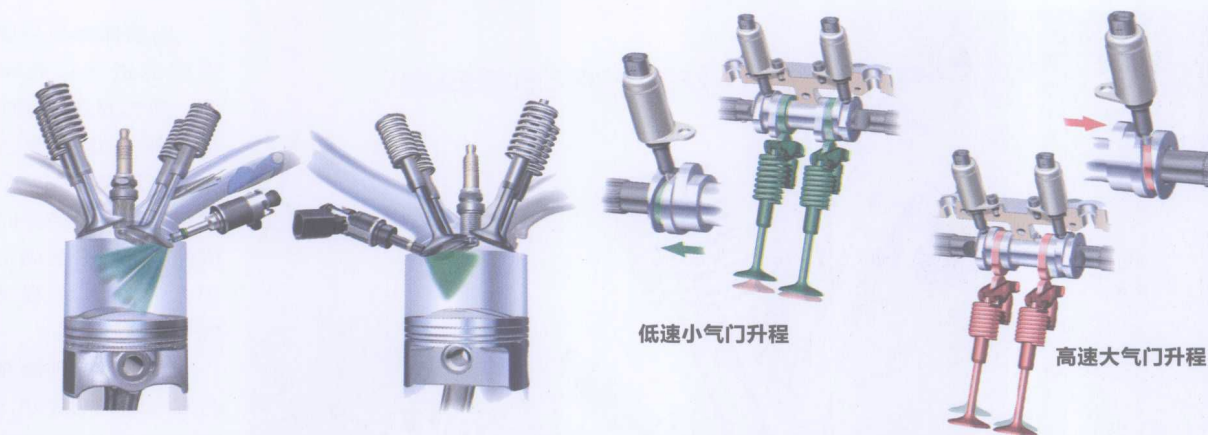
拓了点燃式发动机的新思路，其技术进步可以比肩柴油机领域的TDI技术，在综合动力和经济性方面达到了新的高度。

把汽油直接喷入气缸的FSI发动机相对于把汽油喷入进气歧管的传统发动机有以下优势：

- 1) 动态响应更佳。
- 2) 功率和转矩同时增加。
- 3) 燃油消耗明显降低。

理论上，FSI发动机有至少两种燃烧模式：分层燃烧和均质燃烧，有人还把均质燃烧模式细分为均质稀燃模式和均质燃烧模式。从FSI所代表的Fuel





1.8升TFSI发动机喷油示意

2.8升FSI发动机喷油示意

奥迪可变气门升程系统

Stratified Injection含义上看, 分层燃烧应该是FSI发动机的精髓与特点, 不过也可以理解为是它的研发起点和基础。

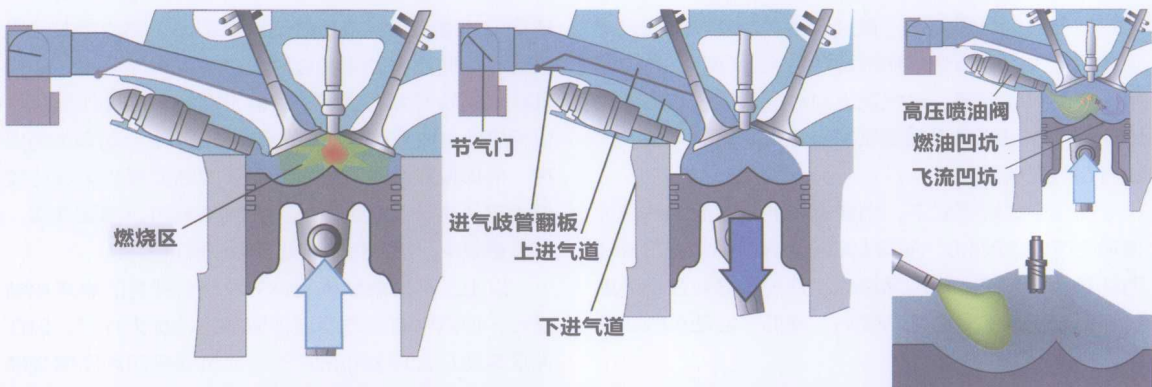
分层燃烧的好处在于热效率高、节流损失少、有限的燃料尽可能多地转化成工作能量。分层燃烧模式下节气门不完全打开, 保证进气管内有一定真空度(可以控制废气再循环和炭罐等装置)。这时, 发动机的转矩大小取决于喷油量, 与进气量和点火提前角关系不大。

分层燃烧模式进气过程中的关键是进气歧管中安置一翻板, 翻板向上开启(原性质质、实际机型可能有所不同)封住下进气歧管, 让进气加速通过, 与 $\omega$

形活塞顶配合, 相成进气涡旋。

分层燃烧时喷油时间在上止点前 $60^\circ$ 至上止点前 $45^\circ$ , 喷射时机对混合气的形成有很大影响。燃油被喷射在活塞顶的凹坑内, 喷出的燃油与涡旋进气结合形成混合气。混合气形成发生在曲轴转角 $40^\circ$ 至 $50^\circ$ 范围内, 如果小于这个范围, 混合气无法点燃, 若大于这个范围, 就变成均质状态了。分层燃烧的相对空燃比( $\lambda$ 值)一般为1.6~3。

点火时, 只有火花塞周围混合状态较好的气体被点燃, 这时周围的新鲜空气以及来自废气再循环的气体形成了很好的隔热保护, 减少了缸壁散热, 提升了热效率。点火时刻的控制也很重要, 它只在压缩过程

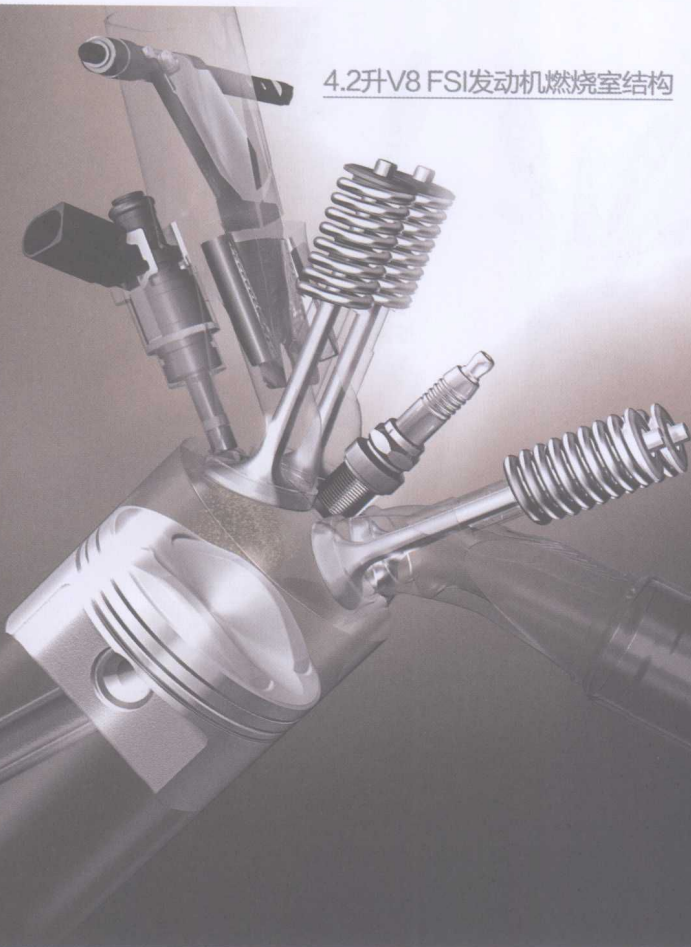


分层燃烧点火时, 只有火花塞周围混合状态较好的气体被点燃, 这时周围的新鲜空气以及来自废气再循环的气体形成了很好的隔热保护。

在高速大负荷均质燃烧情况下, 进行歧管内的翻板放下, 增大进气量, 让更多空气参与燃烧。

喷油时刻对分层燃烧混合气形成有很大影响, 燃油被喷射在活塞顶的凹坑内, 喷出的燃油与涡旋进气结合形成混合气。

4.2升V8 FSI发动机燃烧室结构



均质稀燃与分层燃烧的进气过程相同，油气混合时间加长，形成均质混合气。燃烧发生在整个燃烧室内，对点火时间的要求没分层燃烧那么严格。均质稀燃的空燃比大于1。

均质燃烧则能充分发挥动态响应好，转矩和功率高的特点。均质燃烧进气过程中节气门位置由加速踏板决定，进气歧管中的翻板位置视不同情况而定。当中等负荷时，翻板依然是关闭的，有利于形成强烈的进气旋流，利于混合气的形成与雾化。当高速大负荷时，翻板打开，增大进气量，让更多的空气参与燃烧。均质燃烧的喷油、混合气形

终了的一个很窄的范围内。

分层燃烧时火花塞周围是易燃的14.7:1的混合气，燃烧室其余部分是稀混合气。在分层模式下，燃油喷射在压缩行程实现，直接穿透燃烧室内的空气。在燃烧室内，有节气门和活塞顶结构之间在进气过程中形成的气体涡流。进气涡流对分层燃烧很有帮助，随动的油雾形成易燃混合气围绕在火花塞的周围，而这时正对应点火时刻。

在分层燃烧模式下，燃烧室内的整体混合气的 $\lambda$ 值最高可以达到4.0，使得发动机中低转速情况下燃油消耗量大大下降。分层燃烧的另外一个好处在于隔绝了已燃混合气向气缸壁的散热，降低了发动机的热损耗，提高了工作效率。

均质稀燃模式混合气形成时间长，燃烧均匀，通过精确控制喷油，可以达到较低的混合气浓度。均质稀燃的点火时间选择范围宽泛，有较好的燃油经济性。

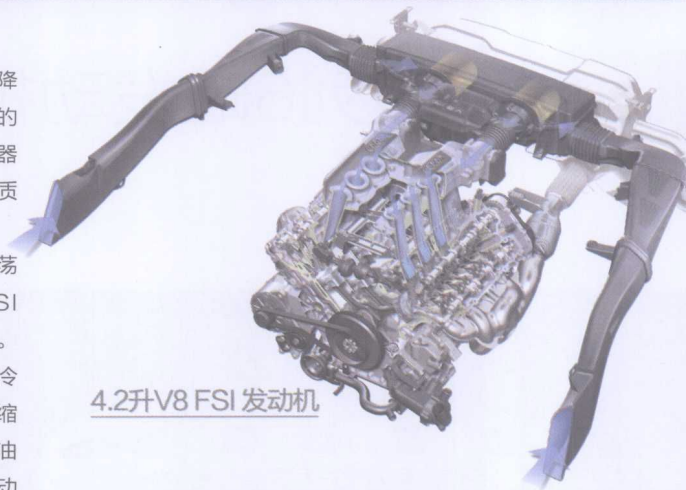
成与燃烧和均质稀燃模式基本一样。均质燃烧情况下空燃比小于或等于1。

均质燃烧模式下，燃油喷射与进气脉冲同步，形成均匀的混合气。与传统发动机相比，燃油蒸发效果更好，同时蒸发的吸热过程降低了混合气温度，使得发动机运转时发生爆燃的可能性减小，因此压缩比可以相应地增加（有些机型达到11.5:1），功率大为提高。而即使在均质燃烧模式下，燃油消耗也可保持较低水平，这一点从勒芒拉力赛的胜利可以得到证实，在该赛事中，发动机始终处于均质燃烧模式。

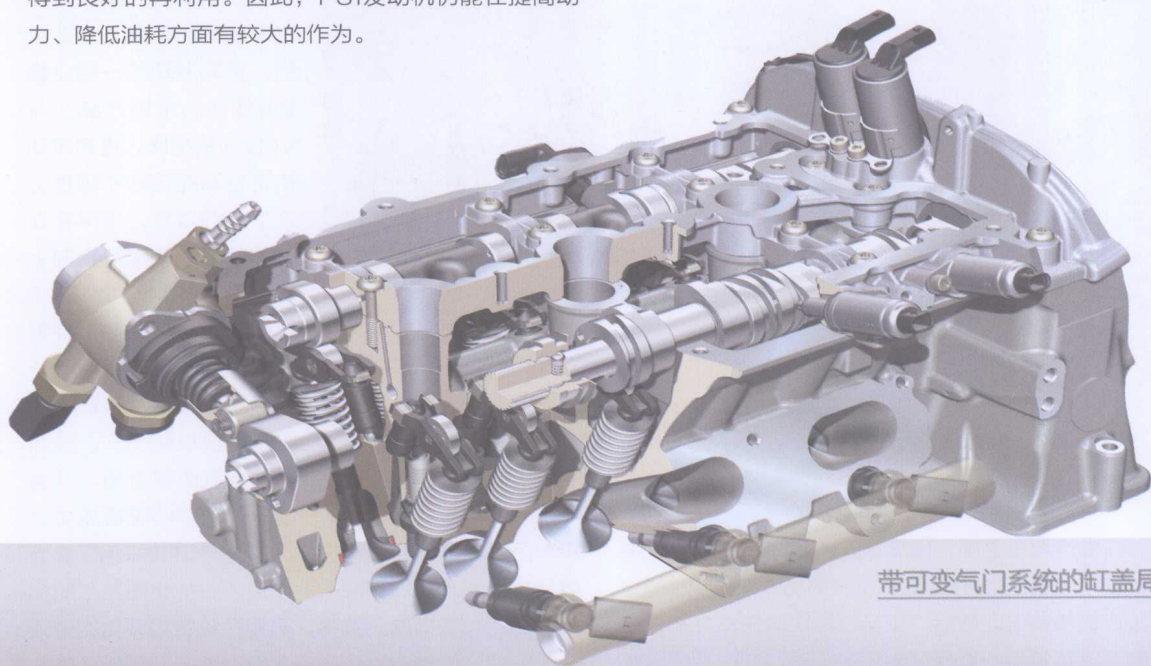
以上三种燃烧状态是FSI发动机特有的燃烧控制模式，但其中有些方面还停留在理论优势方面。现在大众集团在全球发布的FSI发动机都采用均质燃烧模式，这不是说分层燃烧不可实现，而只是说分层燃烧实施的成本或时机还不成熟。主要表现在分层燃烧用稀混合气，提高了局部缸内温度，也增加了氮氧化物这样的有害排放物。对于稀混合气，普通的三元催化

转化器很难把氮氧化物转化干净，那么需要额外的降低氮氧化物的催化转化器，无疑加重了空间和成本的负担。另外，现阶段高硫含量的汽油对此催化转化器损害很大，因此增加了改造炼油设备、提升燃油品质的成本。

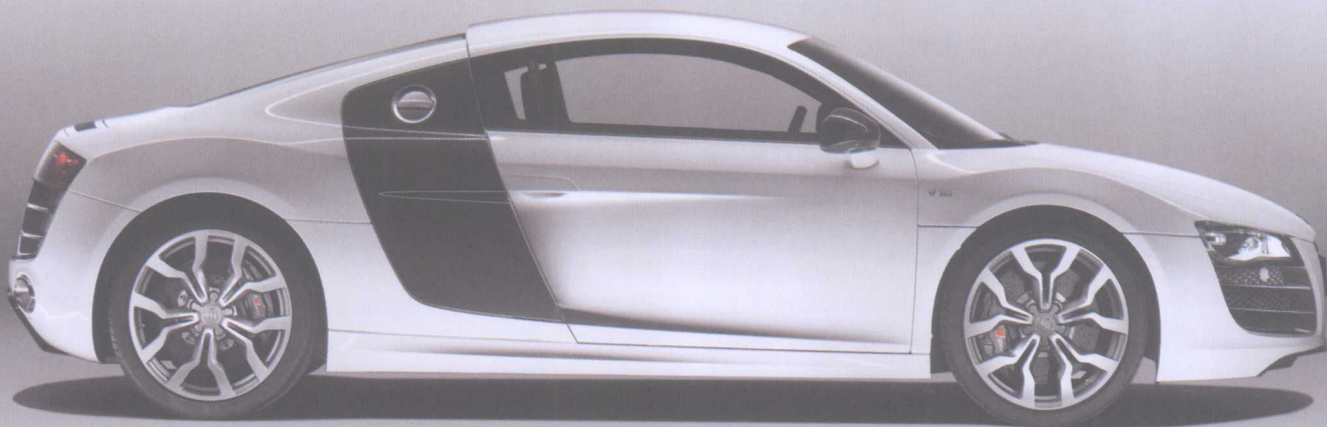
没有了分层燃烧会不会让FSI发动机的原有优势荡然无存？答案是否定的。即使没有应用分层燃烧，FSI发动机还有能提升压缩比、降低燃烧残油量的特点。FSI发动机采用缸内直喷，汽油在缸内蒸发产生内部冷却效果，从而降低了爆燃的可能性，可适当提升压缩比。而进气涡旋与气门正时的配合能使没燃烧的残油得到良好的再利用。因此，FSI发动机仍能在提高动力、降低油耗方面有较大的作为。



4.2升V8 FSI 发动机



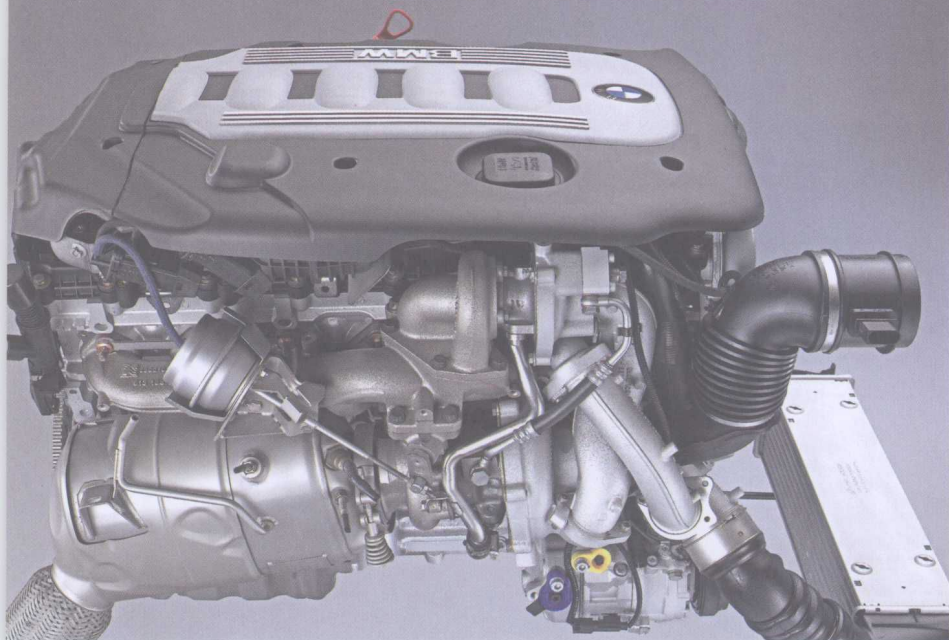
带可变气门系统的缸盖局部



奥迪R8装配5.2升FSI发动机

## 2 宝马直列6缸发动机

不仅是汽油机,宝马柴油机也采用了直列6缸形式



1933年的M78系列发动机奠定了宝马直列6缸发动机的基础,从此以后,宝马发动机一直以直列6缸作为主要产品。与V6发动机相比,直列发动机更容易在运动平顺性上产生良好效果,使得它在整车平顺性和噪声控制上更出色。1936年的M328机型上,宝马采用了顶置气门(那时大量采用的还是侧置气门)、半球状燃烧室(热损失小)、冷启动混合系统等设施,并通过一套复杂的装置成功地

在生产汽车之前,宝马曾是一家飞机发动机制造商,它早期制造的直列6缸航空发动机陈列在宝马博物馆展厅的最前沿。随后,宝马开始了摩托车生产,且把其理念和特征一直保存到现在。不过在以后的发展进程中,汽车和发动机逐渐占据了主流位置。以前,我们总是对宝马汽车的发展津津乐道,而忽略了发动机的影响。其实,宝马作为运动豪华品牌,发动机的作用是不言而喻的。以至于宝马可以容忍底盘、变速器、转向机构等核心部件利用外包商或合作开发,甚至有些型号的车身也请其他设计公司代劳,唯把发动机的研发和生产牢牢地控制在自己手里。

目前宝马发动机的三大利器:汽油直喷、全变量气门和涡轮增压已经应用到最新的直列6缸发动机上。如335i双门跑车和335i敞篷跑车所用的3.0升涡轮增压发动机,可以说已经走在了行业的前列。从历史上看,宝马发动机的发展也一直处于行业领先水平,因此造就了宝马高品质的地位。

用单凸轮轴驱动进、排气门。1968年M30采用了涡旋气流燃烧室(增加了油气混合度)、优化质量平衡和顶置凸轮轴等措施。其中,顶置凸轮轴与原先的侧置凸轮轴相比使发动机结构有了重大进步,它能让结构刚性增加,更利于发动机的高速运转。时至今日,顶置凸轮轴已经是全球绝大多数发动机的选择。到1978年M20机型用铸造曲轴取代了原先的锻造曲轴(塑形能力明显提升)、摇臂轴的轴承数量提高到7个。这时还出现了小排量的直列6缸发动机,排量可以达到1.8~2.3升,整机重量也有所降低,达到了170千克的水平。不过,这代机型最值得称道的还是燃油喷射的出现,先是机械喷射,然后是电子喷射。燃油喷射的出现完全改变了汽油机燃油供给的控制方式,为汽油机随后在性能和排放控制的进步奠定了基础(传统的化油器方式已经不能同时满足上述要求)。1990年推出的M50系列应用了铝合金缸体(它实际上于1994年正式替代铸铁缸体,使机器重量降低了20千克,缸壁

的磨损也有所减少)，双顶置凸轮轴和每缸4气门（现代发动机的标配形式），还有可变气门正时机构和分体线圈点火系统（每个火花塞对应单独的点火线圈，能量更高，点火控制更容易，且消除了白金触点灼烧带来的传导能力降低问题）。2004年的N52使用了镁铝合金缸体和镁合金缸盖，进一步降低了发动机的重量。流量控制油泵和电子冷却泵的使用让发动机的内耗进一步降低。轻质凸轮轴的应用和全变量气门升程控制系统（宝马最自豪的发动机技术之一，至今仍在该领域引领潮流）首次引入直列6缸发动机也让该系列发动机性能水平有了较大的提升。那么，最新的直列6缸发动机则首次把双涡管增压技术、汽油直喷和全变量气门系统结合在一起。

从性能数据上看，宝马335i双门轿跑车和宝马335i敞篷轿跑车搭载的新开发直列6缸发动机排量为3.0升，最大输出功率225千瓦，从1200转/分一直到5000转/分均可提供400牛·米的最大转矩。但不知是出于成本还是强度的考虑，新发动机没有采用宝马近年来一直青睐的镁铝合金缸体，而是使用了更传统的铝合金材料。

涡轮增压器系统采用了双涡管结构，三缸一组，每组在排气歧管和涡轮增压器中都有单独的气道。与以往的涡轮增压机型相比，双涡管增压技术可以降低排气系统背压，让增压过程起效更快。即使在低转速下，也能有迅捷的响应和平稳直接的动力，这些对以



带Valetronic全变量气门控制的直列6缸发动机

动力见长的跑车来说十分有效。

在双涡管涡轮增压装置的帮助下，宝马335i双门轿跑车从静止加速到100公里/小时仅用5.5秒，宝马335i敞篷轿跑车则为5.8秒。两款车型电子限制的最高车速均为250公里/小时。

双门轿跑车按欧盟标准测试循环的平均耗油量为8.4升/100公里，敞篷轿跑车为8.8升/100公里。二氧化碳排放值分别为每公里196克和205克。

3系轿跑车采用最新的直列6缸发动机



## 3 TDI发动机



2.0 TDI发动机

TDI发动机采用涡轮增压中冷和柴油直喷技术，所谓柴油直喷是把燃料直接喷射到主燃烧室，而不是以前常见的喷射到预燃烧室内。柴油直喷技术以前在大型柴油机中出现过，经过改进和细化，后来逐渐应用到乘用车柴油机上。与大众以往柴油机相比，TDI发动机拥有许多优势。

电控燃油喷射系统带来更大的功率、更少的炭烟排放、更小的噪声和更佳的经济性。在大众的TDI发动机上，喷油时间和喷油量都由电脑控制，而以前的柴油机采用机械控制方式。冷启动按钮已经消失，相应的操作由发动机自动完成。

TDI发动机上的Garret VNT15 可变截面涡轮增压器使增压技术达到一个新的台阶，它有更快的响应（尽管以前机型的增压滞后现象也比较轻微），起效范围更加宽广，同时不会造成排气背压过高的问题。在大众的TDI发动机中，增压响应被控制在0.25秒内，驾驶人根本感觉不到增压滞后的存在。

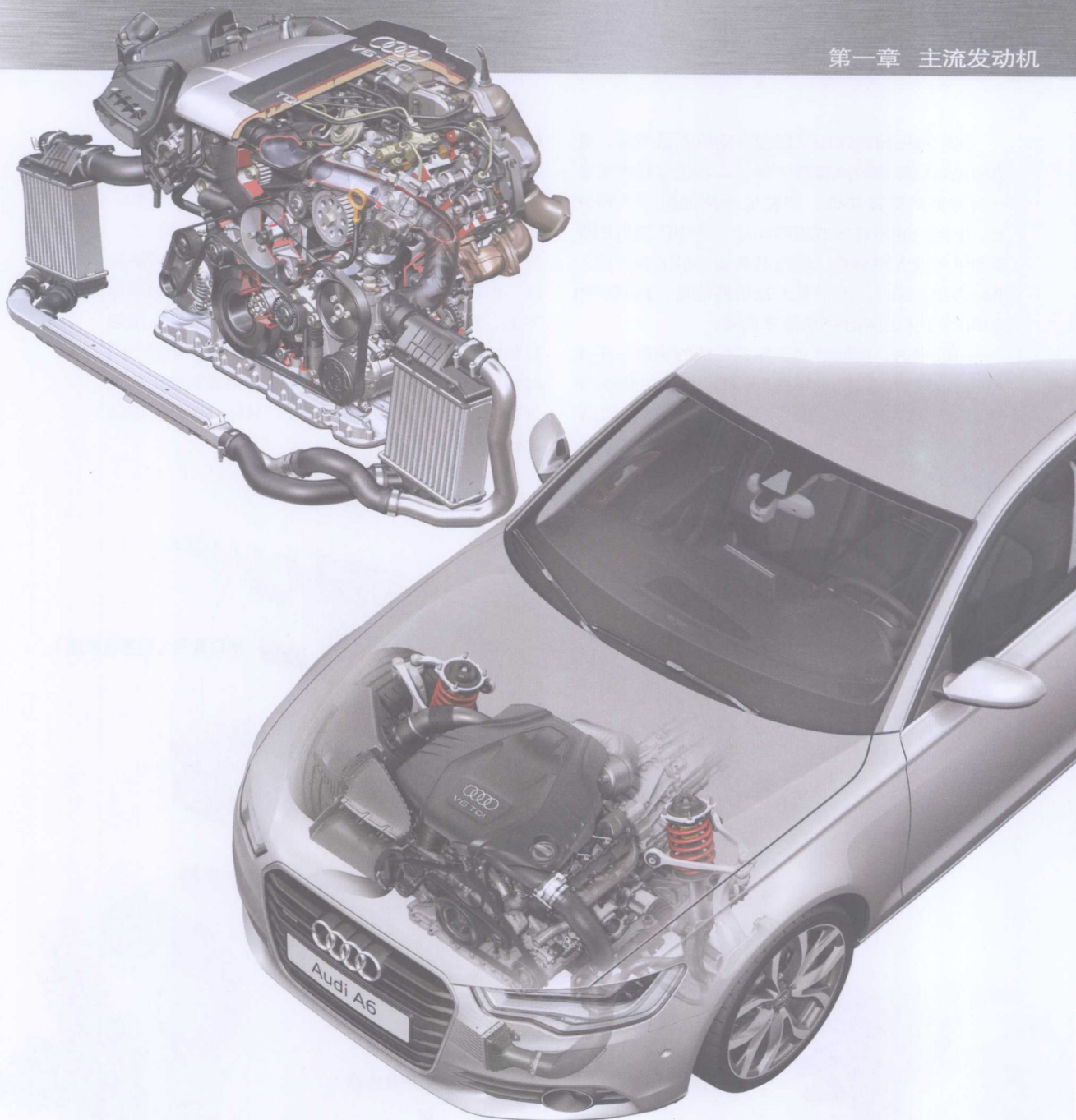
电子排放控制包括EGR（废气再循环），有效地

降低了氮氧化物的排放，从前大众柴油机上没有该装置是由于机械控制很难做到非常恰当。喷嘴设计的改进和喷油压力的提高意味着噪声和排放的降低，两段式喷口设计使压力增加平缓并降低了发动机工作过程中的敲击声。

一体式燃烧室比以前的预燃式燃烧室减少了热量损失，冷启动变得更容易，以前选装的缸体加热装置也没有必要再安装了。即使在零下10℃，新加热塞设计能使加热周期缩短10秒。一体式燃烧室允许更低的压缩比（18.5:1或19.5:1对老机

型的22:1或23:1），可以降低发动机的噪声和振动，进而提升耐久性。

TDI发动机的燃油系统有自己的特征，现在有三种燃油喷射系统，首先是分配泵系统，由燃油泵向喷嘴顺序供油（旧机型油压在93.1兆帕，新机型压力更高），喷油时间和喷油量都由电脑控制。大多数大众TDI发动机使用博世VP 37 电控分配泵，通常它安装在发动机前端，由正时带驱动。分配泵和喷嘴之间是高压钢管。这一系统应用在66千瓦（90马力）和73.5千瓦（100马力）的1.9升4缸发动机上，还有2.5升5缸机以及110千瓦（150马力）的2.5升V6发动机上。在分配泵内，燃油首先通过叶片提升压力，随后旋转柱塞泵把压力进一步提升并按顺序把燃油送到每一缸喷油。每个喷嘴包含带回位弹簧的活塞，一旦燃油压力超过设定值，喷口即打开。5个喷口直径极小。回位弹簧按两级工作，即预喷在低压下进行，主喷则在高压下进行。主喷可以在混合气点火后继续进行，有效地降低了发动机的噪声。提高燃油喷射压力可以



显著地改善排放水平，例如上一代奥迪A4 TDI发动机把喷射压力提升到136.8兆帕，把排气颗粒水平降低了20%。所付出的代价是把燃油泵中的柱塞加粗1毫米。

其他大众TDI发动机，如84.5千瓦（115马力）和110千瓦（150马力）的1.9升4缸发动机，1.2升和1.4升3缸机采用泵喷嘴技术，在这些发动机上，每缸有自己的小型高压燃油泵，由进排气凸轮轴驱动，泵喷嘴由低压叶片泵供油，当活塞接近压缩行程的上止点时，泵喷嘴的主泵活塞受到激发，但喷油量由附在其上的电磁阀控制，多余油量由旁通阀流回。电磁阀通

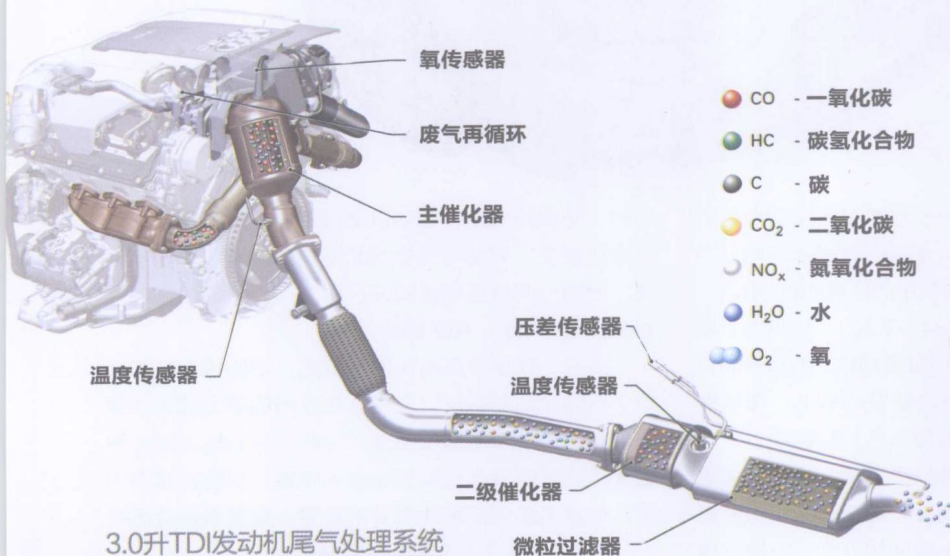
电时，旁通阀关闭，燃油以高压形式通过喷嘴喷出，要停止喷油，只要将电磁阀断电，燃油即从旁通阀回流。喷油时间就是电磁阀开启时间，且每缸的燃油喷射是独立完成的，便于精确控制。

最后一种是高压共轨喷射系统，它的概念有点类似于汽油机喷射系统，只不过油轨内的压力提高了很多倍。中央油泵把高压油送入油轨，在油轨上对应每缸有相应的电磁阀控制燃油进入喷嘴。尽管说起来简单，但超高压使系统建造并不容易。这套系统应用在2.5升V6发动机上和3.3升V8发动机上。

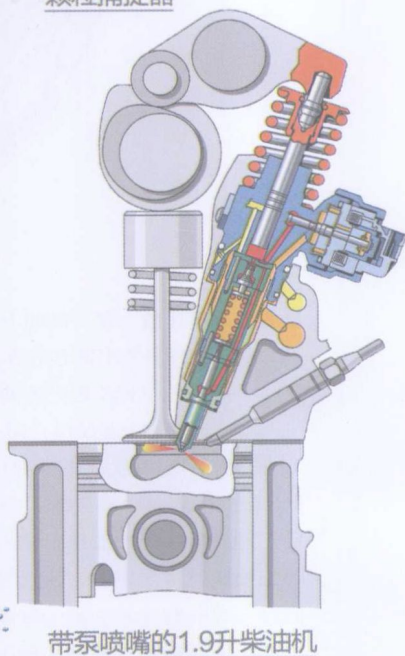
涡轮增压器的作用是增加发动机的进气量，使功率和转矩都有较大幅度的增长。它工作起来就像一台微型航空发动机，涡轮位于柴油机排气系统上，把排气能量转换成旋转动能，驱动压缩机把更多的进气送入燃烧室。增压器与发动机没有任何的机械连接，因此不会消耗发动机的能量，其润滑和冷却由发动机上引出的机油来完成。

一般来讲，柴油机对于车辆性能的贡献在于强大的低速转矩。如奥迪A6 2.5升TDI发动机的最大转矩达到了370牛·米，配合涡轮增压器，最大功率也达到了133千瓦，对比奥迪A6 2.8升汽油机的相

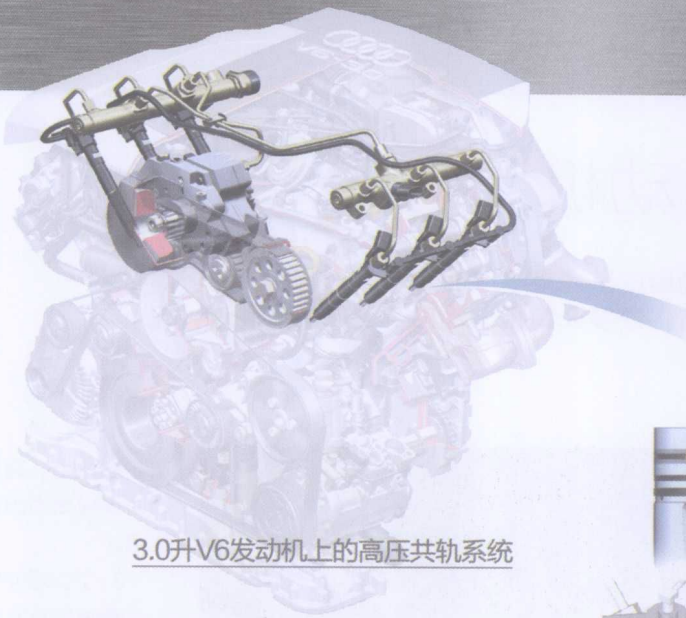
应数据280牛·米和140千瓦，发动机的动力已经很强大了，但漂亮的数据并不代表一切。在加速测试中，2.5TDI的0到100公里/小时加速时间为9.5秒，比2.8升汽油车型多出1.1秒，终点档位升到3档，转速为3700转/分，低速大转矩的优势没能很好地体现。但这并不说明柴油机缺乏力量，也不是功率跟不上，主要是柴油机的安全转速比汽油机低，加速过程中的换档间隔高于汽油机所致。虽然全节气门起步加速成绩不十分突出，但装配柴油发动机的奥迪在路上行驶时的加速感良好。另外，柴油机的低油耗是另一个卖点。



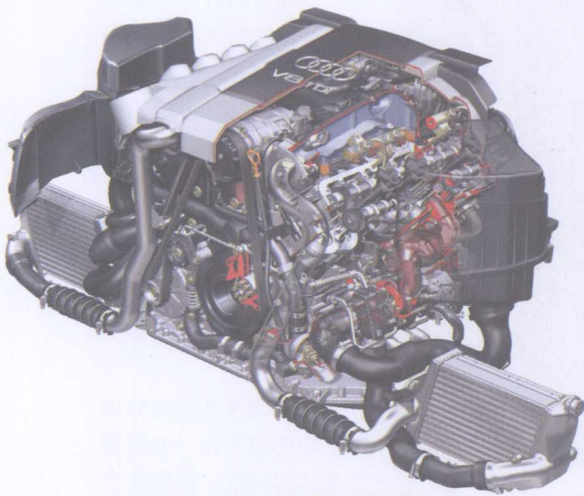
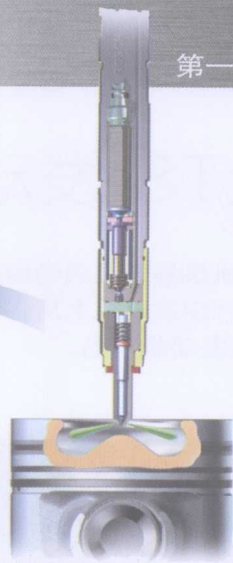
- CO - 一氧化碳
- HC - 碳氢化合物
- C - 碳
- CO<sub>2</sub> - 二氧化碳
- NO<sub>x</sub> - 氮氧化物
- H<sub>2</sub>O - 水
- O<sub>2</sub> - 氧



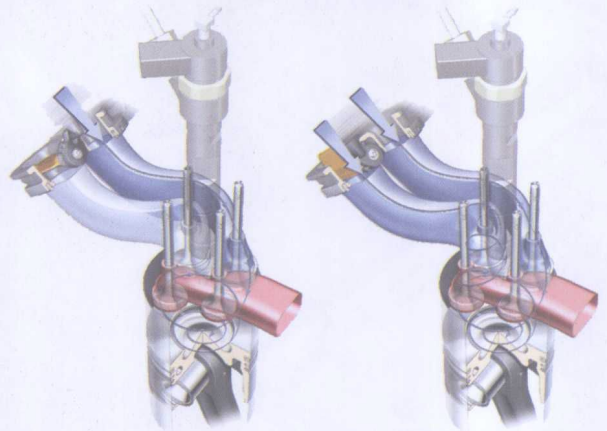




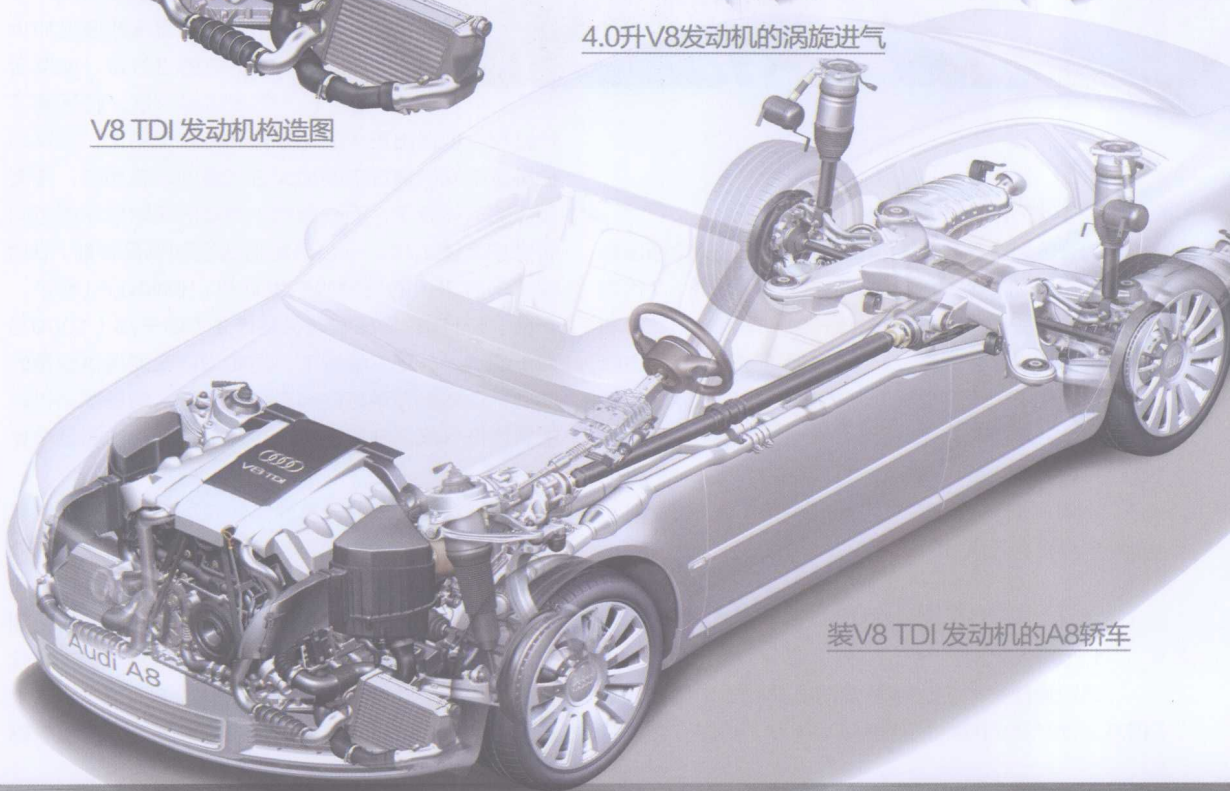
3.0升V6发动机上的高压共轨系统



V8 TDI 发动机构造图



4.0升V8发动机的涡旋进气



装V8 TDI 发动机的A8轿车