

第五节 发动机主要性能指标与特性

一、发动机主要性能指标：有动力性指标（有效转矩、有效功率、转速等）和经济性指标（燃油消耗率）。

1、有效转矩：发动机通过飞轮对外输出的转矩，以 T_e 表示，单位为 $N\cdot m$ 。

2、有效功率：发动机通过飞轮对外输出的功率。以 P_e 表示，单位为kW。

$$P_e = T_e \cdot \frac{2\pi \cdot n}{60} \times 10^{-3} = \frac{T_e \cdot n}{9550} \text{ (kW)} \quad (1-1)$$

式中： n ——曲轴转速， r/min

3、有效燃油消耗率：发动机每发出1 kW有效功率，在1h内所消耗的燃油消耗质量，以 b_e 表示，单位为 $g / (kW\cdot h)$ 。

（四冲程汽油机一般为270~325 $g / (kW\cdot h)$ ，四冲程柴油机一般为190~238 $g / (kW\cdot h)$ 。）

$$b_e = \frac{B}{P_e} \cdot 10^3 \text{ (g / kW} \cdot \text{h)} \quad (1-2)$$

发动机主要性能指标可在发动机测功器台架上试验测定：

试验时保持一定油门开度，同时用测功器对发动机施加一定的阻力矩，用转速表测出发动机转速，低于所需转速则减小阻力矩，反之则加大阻力矩，当发动机转速稳定在所需转速时，即阻力矩与发动机输出有效转矩相等时，测量发动机转速和发动机有效转矩，用油耗仪测出发动机单位时间内的耗油质量 B ，根据式（1-1）换算出发动机有效功率 P_e ，根据式（1-2）换算出发动机有效燃油消耗率 b_e 。

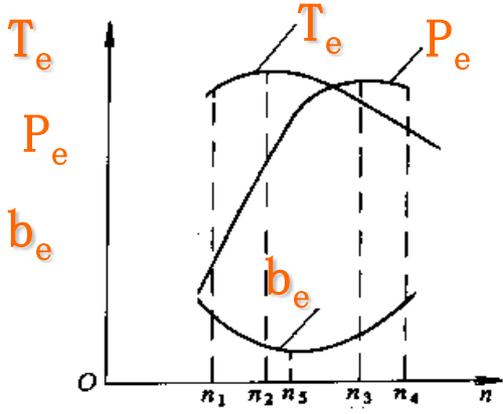
二、发动机速度特性：指油门开度一定时，发动机的有效功率、有效转矩和有效燃油消耗率三者随发动机转速变化的规律。

(1) **发动机全负荷速度特性（又称为发动机外特性）：**指油门全开时，发动机的有效功率、有效转矩和有效燃油消耗率三者随发动机转速变化的规律。发动机最高工作转速时的全负荷有效功率为额定功率，相应转速为额定转速，为发动机铭牌功率和转速。

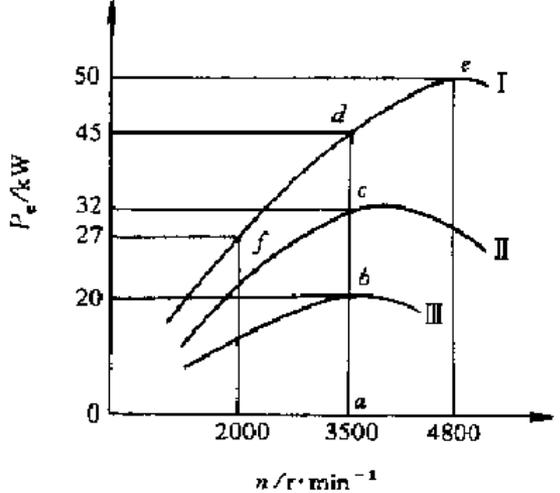
(2) **发动机部分负荷速度特性：**指油门部分开启时，发动机的有效功率、有效转矩和有效燃油消耗率三者随发动机转速变化的规律。

(3) **发动机工况：**一般是用它的功率与曲轴转速来表征，有时也用负荷和曲轴转速来表征。

(4) **发动机负荷：**发动机在某一转速下的负荷，就是当时发动机发出的功率与同一转速下所可能发出的最大功率之比。注意，不要把负荷与功率混淆，50%负荷不是指油门开启一半开度，而是指此转速下发动机输出功率是油门全开时发动机输出功率的一半。



(a) 汽油发动机外特性



(b) 汽油发动机部分负荷速度特性

三、汽油机与柴油机速度特性的区别：

汽油机速度特性曲线表明：发动机输出的有效转矩随转速增加而逐渐下降，原因是节气门的节流作用使发动机的充气效率下降，气缸内进气量减少，尤其是部分节气门开度时。因此，发动机输出功率随转速增加而增大到极值后迅速下降，不会发生“飞车”现象。

柴油机没有节气门的进气节流作用，转速一定时，气缸内进气质量就一定，改变负荷的大小靠改变每循环喷油量的多少，柴油机速度特性曲线表明：发动机输出的有效转矩随转速增加而变化平缓。因此，发动机输出功率随转速增加一直在增大，只是前面增加迅速，后面平缓，因此，一旦喷油泵柱塞卡滞在大油门位置而发动机外界负载卸去时，发动机转速将大幅度上升，直到发动机冒黑烟，排气管烧红，飞轮飞出伤人等严重事故发生，此谓柴油机的“飞车”现象。

第六节 内燃机产品名称和编号规则

一、国标GB725-82规定如下：

- 1、按所用燃料命名，如柴油机、汽油机等。
- 2、型号由阿拉伯数字和汉语拼音字母组成。
- 3、型号由四部分组成：

举例：

- 1、6135Q柴油机
- 2、1E65FM汽油机



第一章 复习题

1. 四冲程汽油机通常由哪些机构与系统组成？它们各有什么作用？
2. 四冲程柴油机经过哪四个活塞行程完成一个工作循环？期间，曲轴旋转了几周？配气凸轮轴旋转了几周？喷油泵凸轮轴旋转了几周？
3. 二冲程汽油机曲轴旋转几周完成一个工作循环？期间，第一活塞行程的定义是什么？包括哪些过程？第二活塞行程的定义是什么？包括哪些过程？
4. 飞轮的作用是什么？二冲程汽油机的飞轮与四冲程汽油机的飞轮相比哪个飞轮的转动惯量大？多缸机的飞轮与单缸机的飞轮相比哪个飞轮的转动惯量大？
5. 内燃机压缩比的定义是什么？选择汽油机压缩比的主要依据是什么？选择柴油机压缩比的主要依据是什么？汽油机的压缩比与柴油机的压缩比为何不一样？

5. 什么是汽油机爆燃现象？有哪些危害？什么是汽油机表面点火现象？有哪些危害？
6. 汽油机与柴油机在可燃混合气形成方式与点火方式上有何不同？他们所用的压缩比为何不一样？
7. 四冲程汽油机和四冲程柴油机在总体构造上有哪些主要不同？
8. 比较二冲程汽油机与四冲程汽油机动力性能、燃油经济性能、HC排放的优劣，并说明原因。
9. 汽油机型号1E65FM和TJ376Q如何表示发动机的基本参数和特征？
10. 什么是发动机的速度特性？什么是发动机的外特性？

第二章 曲柄连杆机构

第一节 概述

一、曲柄连杆机构的作用：

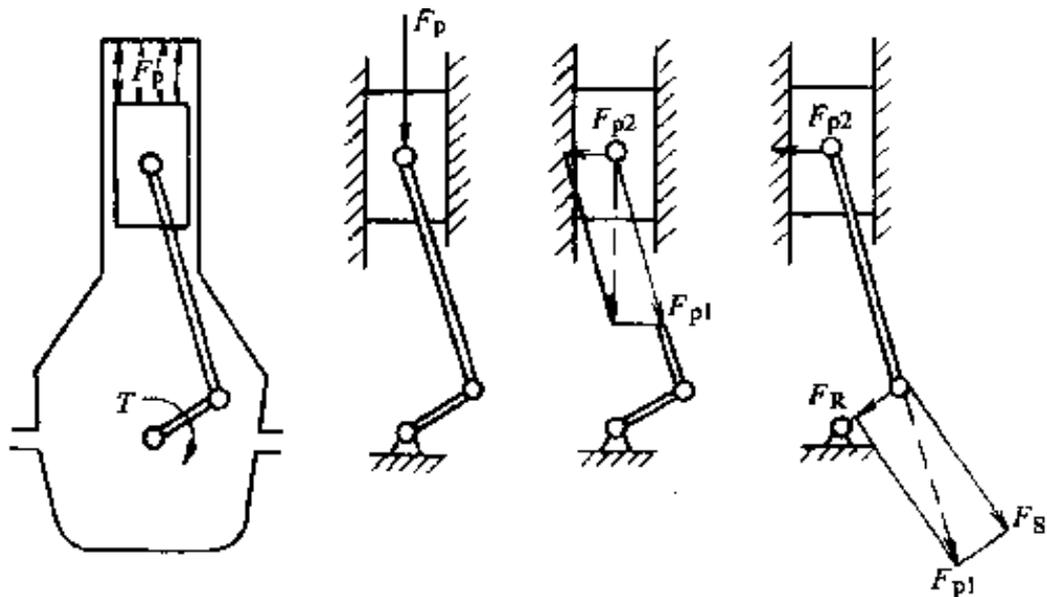
- 1、将活塞的往复直线运动转变为曲轴的旋转运动；
- 2、将作用在活塞顶上的燃气压力转变为曲轴的输出扭矩。

二、组成：机体组、活塞连杆组、曲轴飞轮组。

三、工作特点：高温、高压、高速、化学腐蚀。

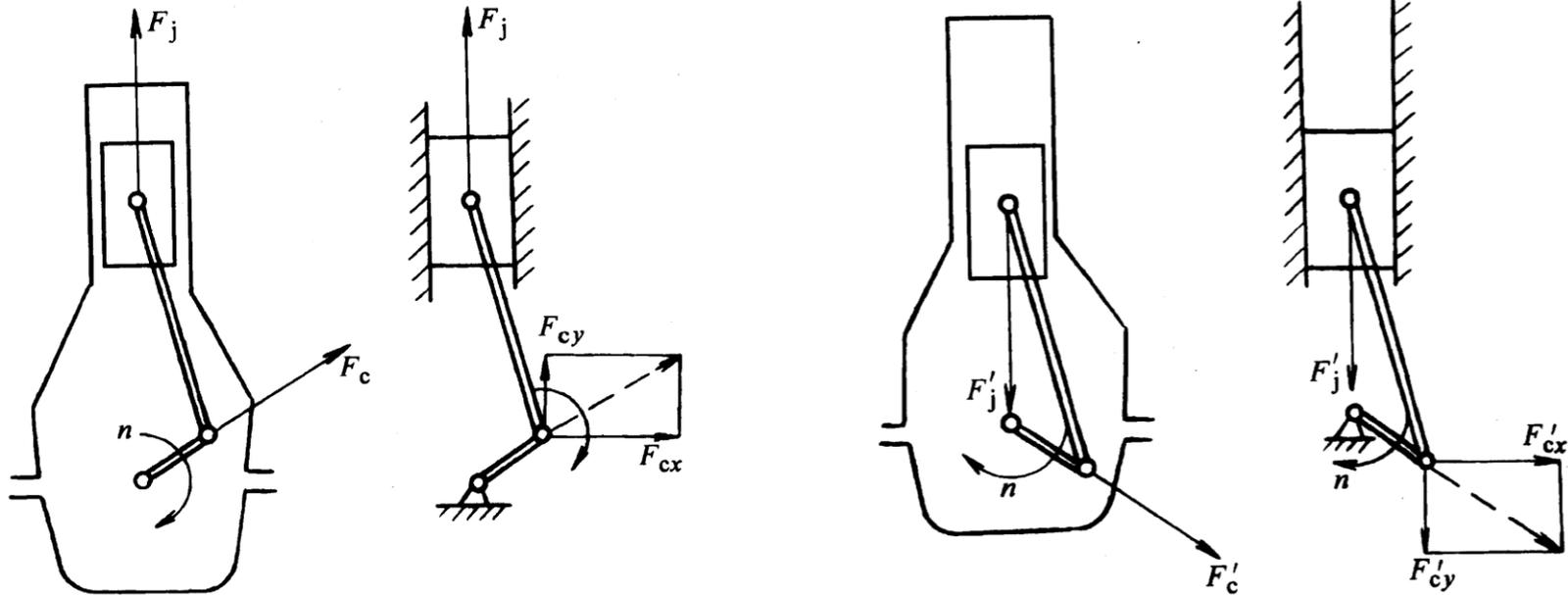
四、受力分析：

1、气体作用力：在作功行程中，气体作用力 F_p 作用在活塞顶上，传到活塞销上，分解为 F_{p1} 、 F_{p2} ，分力 F_{p1} 沿连杆传到曲柄销上，并可分解为 F_R 和 F_S ，垂直于曲柄的分力 F_S 对曲轴中心形成转矩 T_{tq} ，推动曲轴旋转；分力 F_{p2} 则将活塞压向气缸的左侧。



(1) 作功行程

图2-1 气体压力作用情况示意图



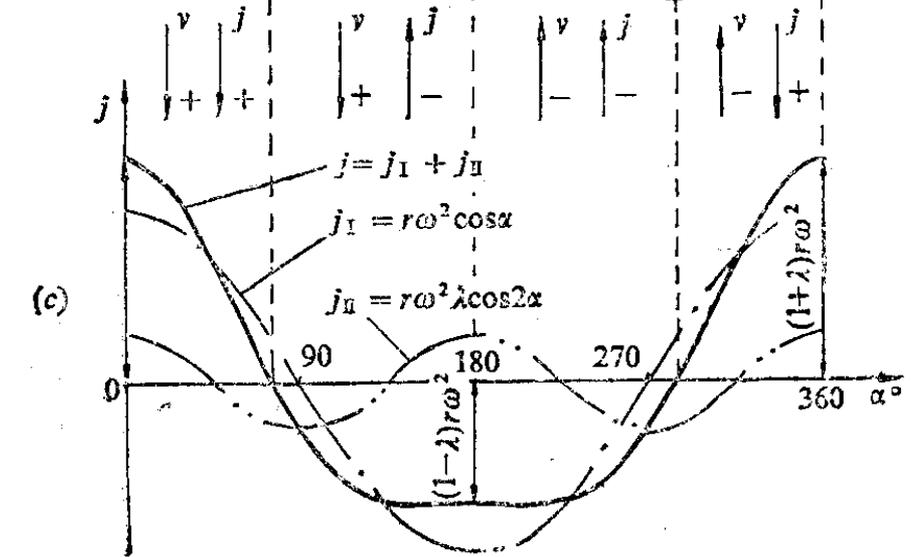
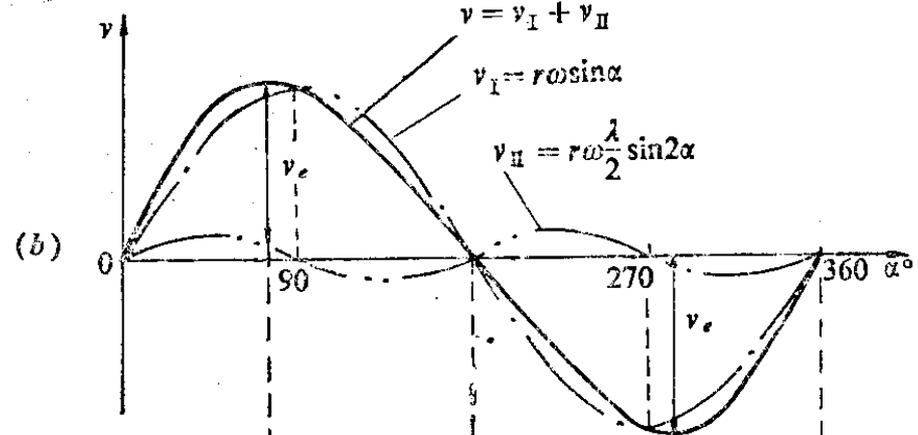
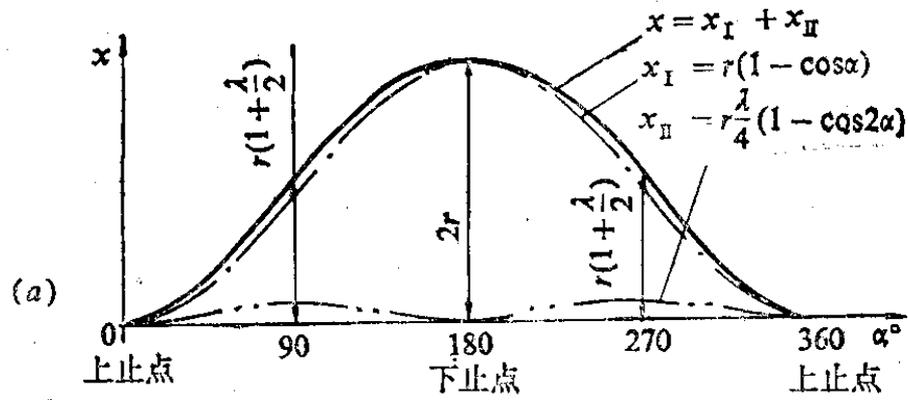
(1) 活塞在上半行程时的惯性力 (2) 活塞在下半行程时的惯性力

图2-2往复惯性力和离心力作用情况示意图

2、**往复惯性力与离心力**：活塞加速度：在上止点前后活塞加速度是正值，往复惯性力朝上；在下止点前后活塞加速度是负值，往复惯性力朝下。如图(2-2)。

偏离曲轴轴线的曲柄、曲柄销和连杆大头绕曲轴轴线旋转，产生旋转惯性力，其方向沿曲柄半径向外。

曲轴转速愈高，往复惯性质量和旋转惯性质量愈大，则往复惯性力与离心力愈大，惯性力使曲柄连杆机构的各零件和所有轴颈（轴承）受周期性变化的附加负荷，加快磨损。若不加以平衡，惯性力传到气缸体外，引起发动机的振动。



3、摩擦力：忽略不记。

五、总结：曲柄连杆机构（包括机体组）各有关零件受到压缩、拉伸、弯曲和扭转作用。

第二节 机体组

机体组由气缸体（有的发动机有曲轴箱）、气缸盖和油底壳组成。

一、气缸体

水冷发动机的气缸体与曲轴箱常铸成一体，简称气缸体，有的水冷发动机的气缸体象风冷发动机的气缸体一样，将气缸体与上曲轴箱（其内腔为曲轴运动的空间）分开铸造，而把油底壳称之为下曲轴箱。气缸体内孔一般镶入气缸套，其内表面形成气缸工作表面。

(一) 作用：
1、内孔：
(1) 形成气缸工作容积
(2) 活塞运动导向
2、外部：
(1) 各机构和系统的装配基体
(2) 散热

(二) 要求：
1、耐高温、高压
2、耐磨损
3、耐腐蚀
4、足够的刚度和强度

(三) 材料和工艺：

1、材料
(1) 气缸套：优质合金铸铁或合金钢
(2) 气缸体：灰铸铁或铝合金

2、气缸工作表面制造工艺
(2级加工精度)
(1) 精镗
(2) 珩磨（网纹状）

1、改善磨合条件，磨合时间短
2、避免拉缸（金属熔着磨损）
漏气：功率下降
窜机油：冒蓝烟
活塞卡死

三、气缸体结构特点：

1、按具体结构形式分为三种：

(1) 一般式气缸体：

曲轴轴线与气缸体下表面在同一平面上（图2-3a）。其优点是制造方便，质量轻，高度低，但刚度低，适用于汽油机。

(2) 龙门式气缸体：

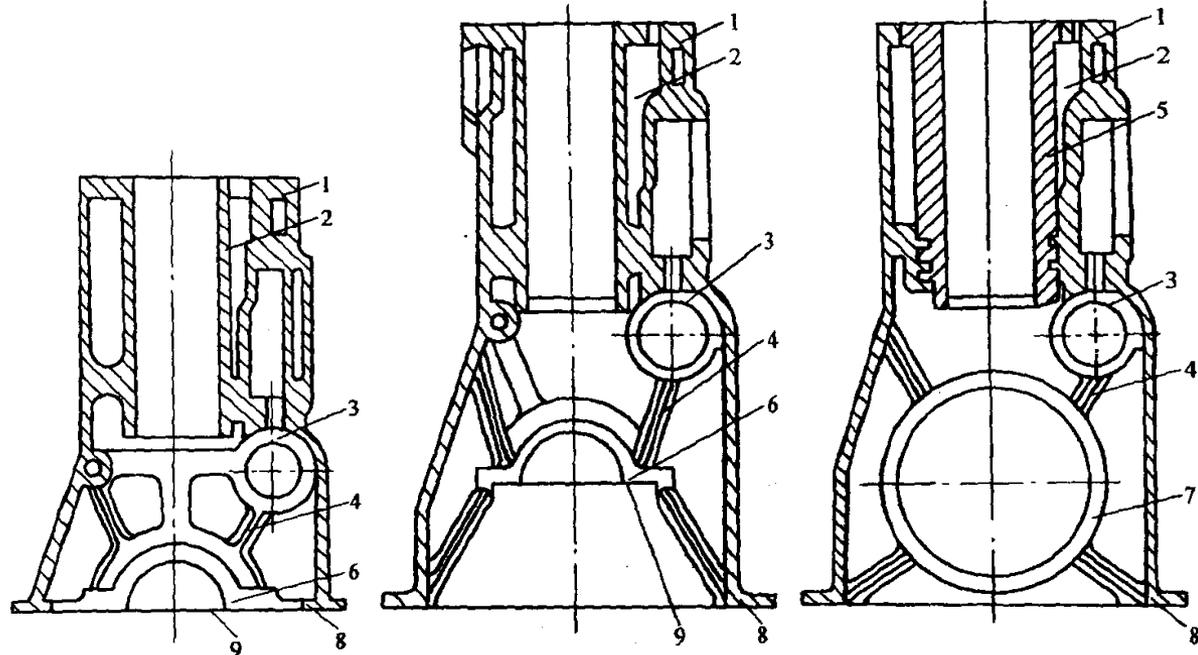
气缸体下表面移至曲轴轴线以下（图2-3 b ）。其优点是刚度和强度较好，但工艺性较差，适用于柴油机和强化汽油机。

(3) 隧道式气缸体：

气缸体上有完整的主轴承座孔（图2-3 c ）。其优点是刚度最好，主轴承座孔不易变形，便于安装滚动主轴承支承的组合曲轴，各缸主轴承孔同轴度易保证，制造方便，但质量大，高度高。

2、按冷却方式分：

- (1) 水冷式：气缸体内铸有冷却水套（图2-4）
- (2) 风冷式：气缸体外铸有散热片（图2-5）



(a) 一般式

(b) 龙门式

(c) 隧道式

图2-3 气缸体示意图

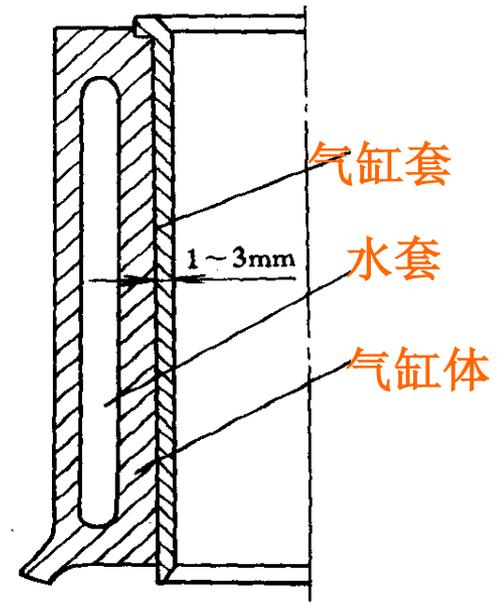
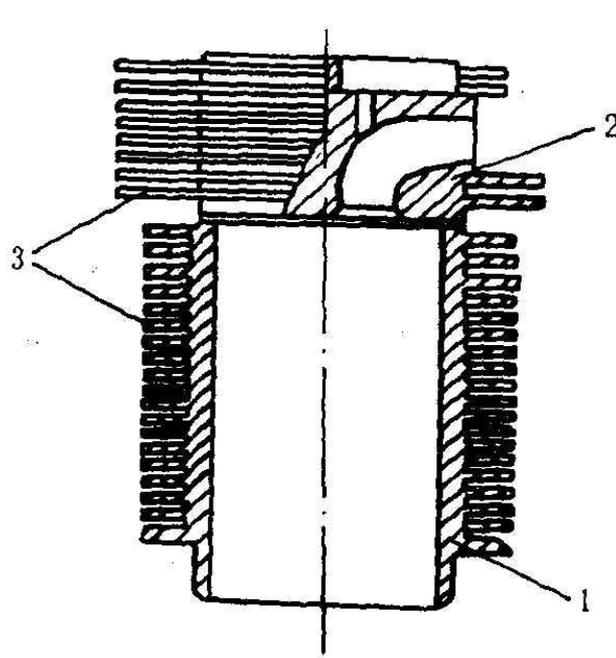
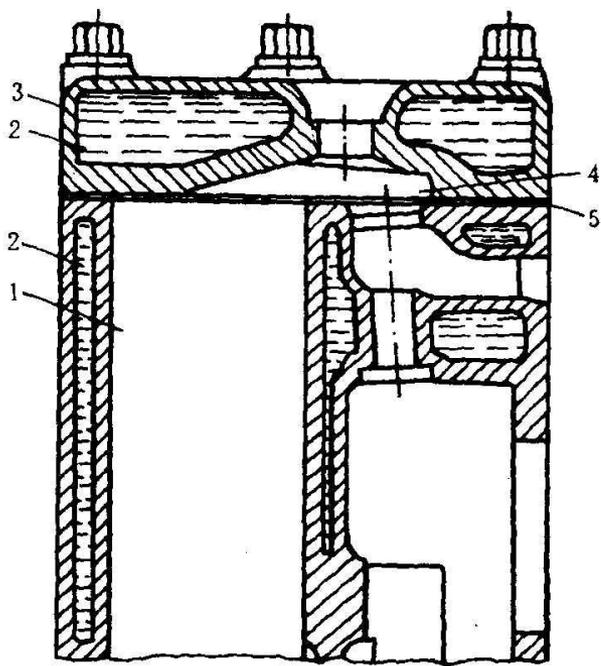


图2-4 水冷发动机和气缸盖

图2-5 风冷发动机的
气缸体和气缸盖

图 2-6 (a) 干式气缸套

3、按镶缸套方式分为两种：

(1) 干式缸套：图 (a) 所示，不直接与冷却水接触，薄壁 (1-3mm)，过盈压配在气缸体内孔中。其优点是：密封性好，气缸体刚性好，不易变形。缺点是：

a、制造成本增加：气缸体内孔、缸套外圆亦需精加工，且薄壁缸套刚性差，加工装夹时易变形。

b、热负荷增加：缸套外圆与气缸体内孔理论上是完全接触，但加工误差使之不可能完全接触，因而散热面积小，影响缸套散热，必然使缸套、活塞等热负荷严重。

c、气缸体铸造工艺性差：水套封闭，去渣困难。

d：缸心距增加，曲轴易弯曲变形：水套封闭。

(2) **湿式缸套**：图 (b) 所示，气缸体水套敞开，缸套与冷却水直接接触，薄厚 (5-9mm)，缸套下端带橡胶封水圈，气缸套外圆上大，下小 (因为气缸套下端带1-3道橡胶封水圈)，且上端与气缸体内孔配合紧，下端配合松，以方便推入气缸体内孔。

湿式缸套压配在气缸体内孔时，上部凸肩顶面高出气缸体顶面0.05-0.15 mm，这样紧固缸盖时，可将缸垫压得更紧，以密封燃气。

湿式缸套优点是：气缸套冷却好；制造成本低；气缸体铸造工艺性好；缸心距短，曲轴不易弯曲。

湿式缸套缺点是：气缸体刚性差，容易变形，易漏气、漏水；气缸套外圆表面易产生穴蚀现象，常见涂漆。

4、按气缸排列形式分

- | | | |
|---|----|--|
| { | 单列 | 直立 |
| | | 平卧 |
| { | 双列 | V型 ($\gamma < 180^\circ$, 相邻两缸的连杆大头共用一个曲柄销) |
| | | 水平对置 ($\gamma = 180^\circ$, 每缸的连杆大头各占用一个曲柄销) |

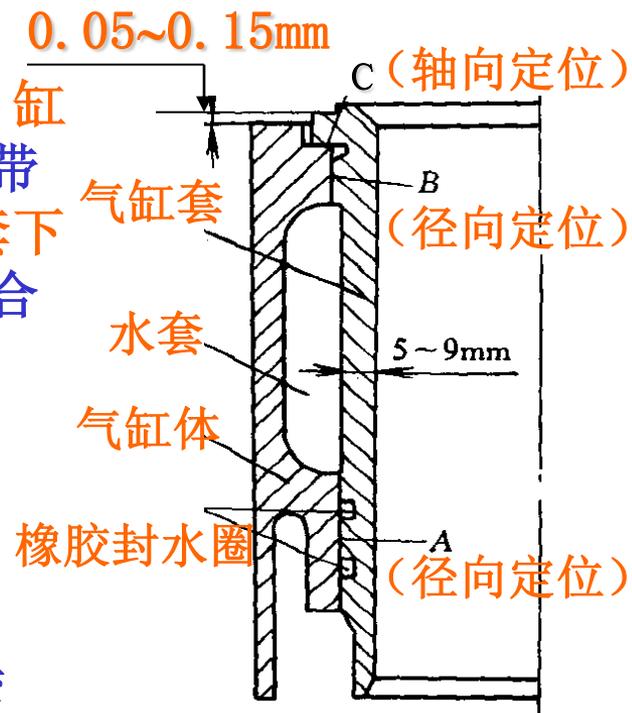
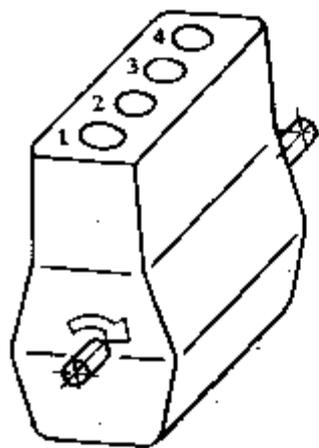
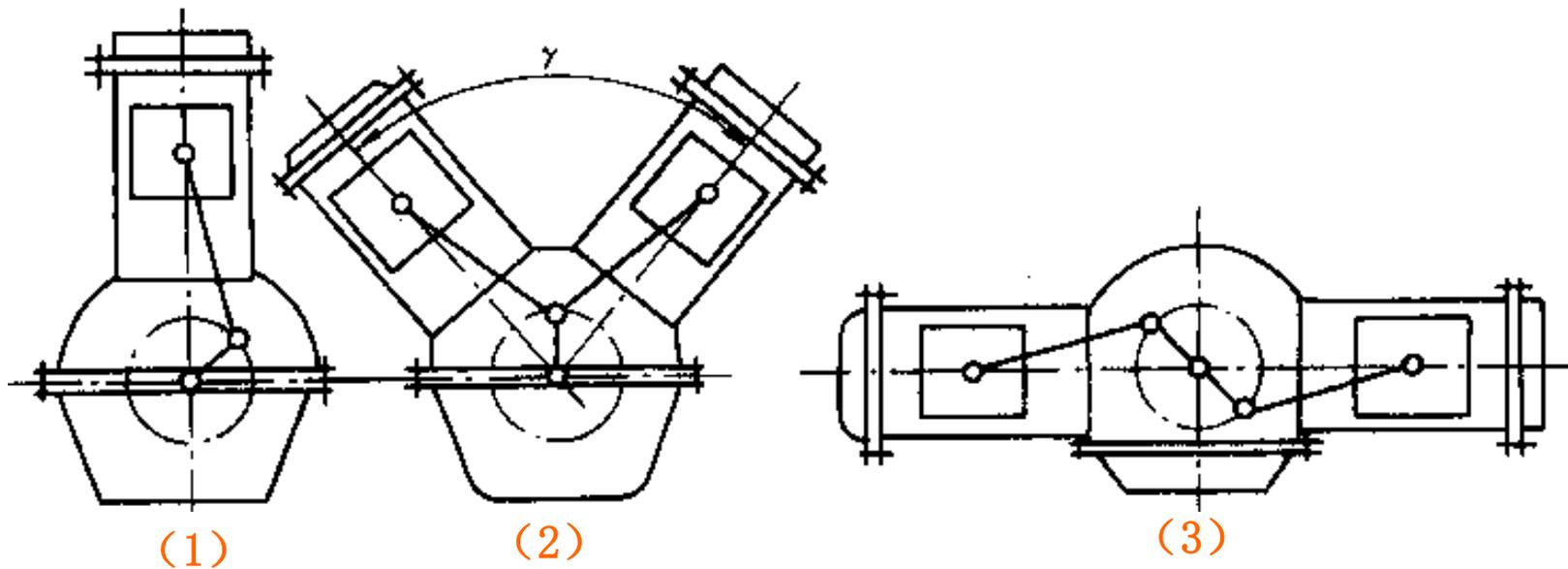
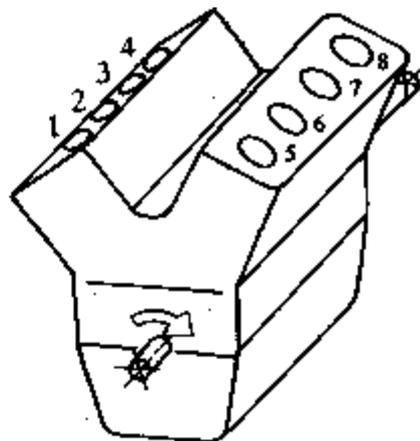


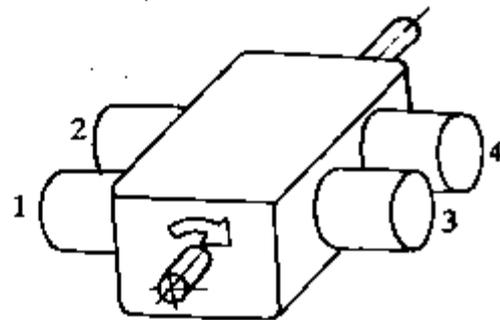
图 2-6 (b) 湿式气缸套



(1)



(2)



(3)

图2-7 多缸发动机气缸排列型式

(1) 单列直立式 (直列式) (2) V型 (3) 水平对置式

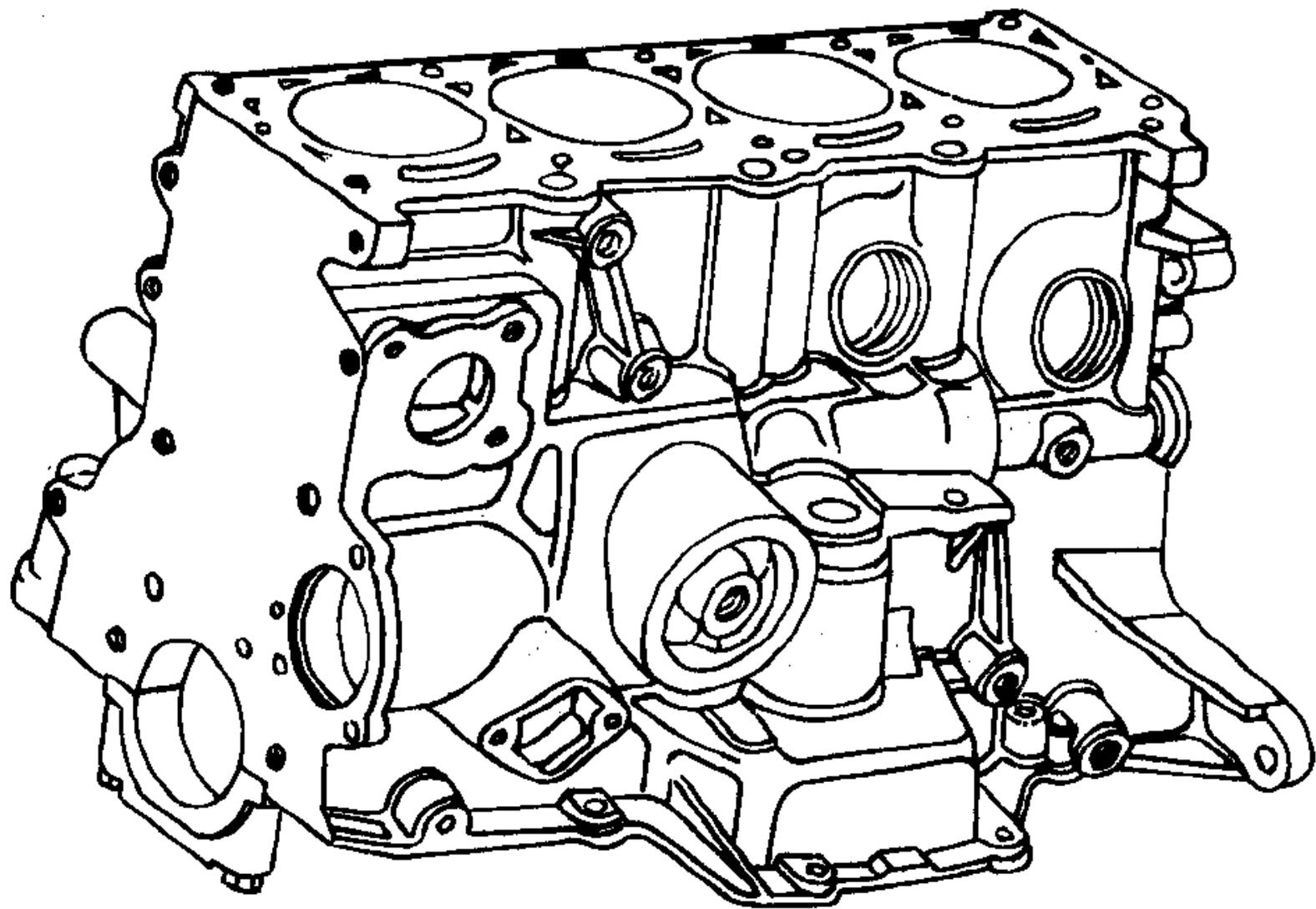
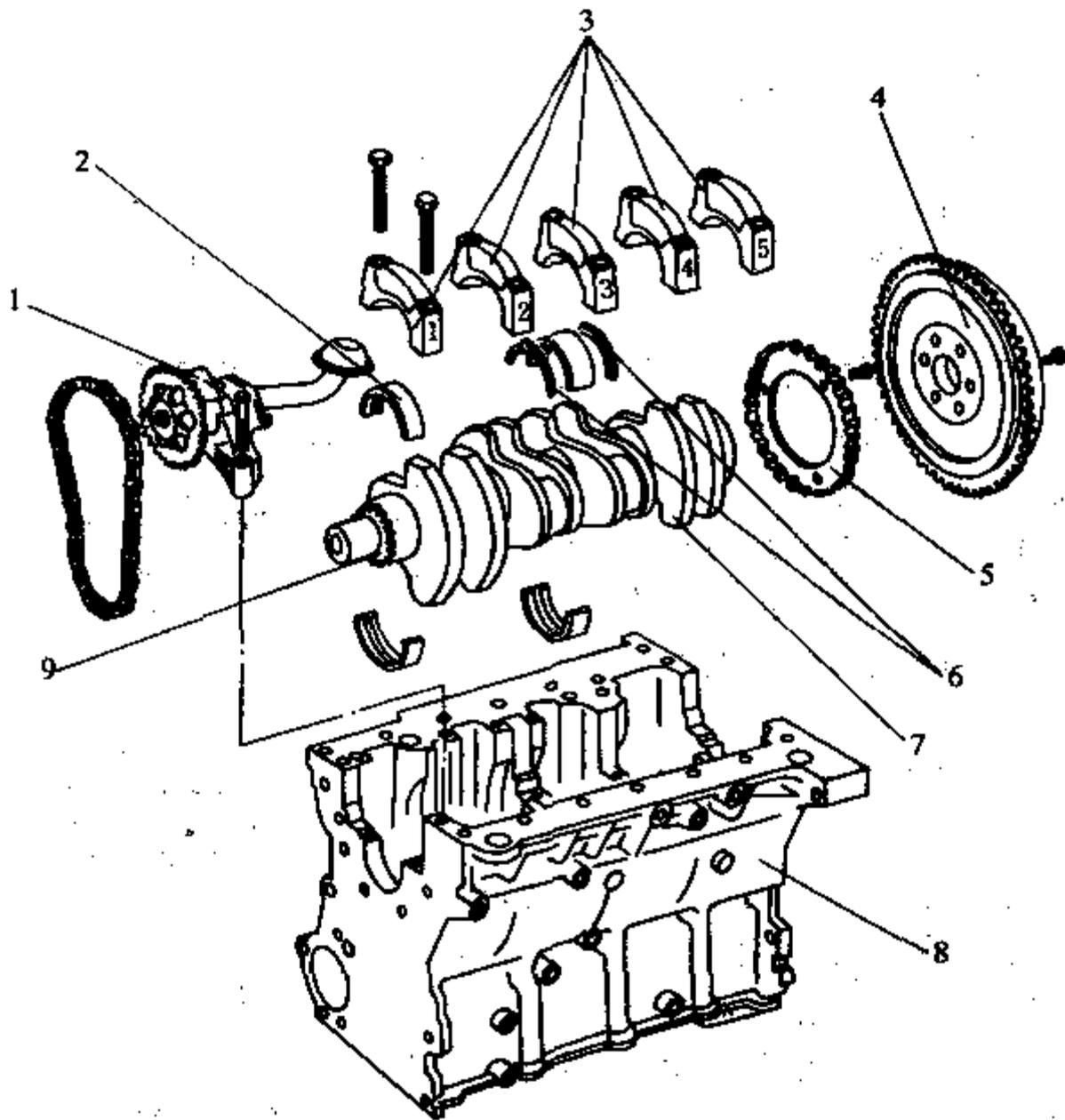


图2-8 一汽奥迪100型发动机气缸体（一般式）



- 1-机油泵
- 2-主轴瓦
- 3-主轴承盖
- 4-飞轮
- 5-转速传感器脉冲齿
- 6-止推垫片
- 7-曲轴
- 8-气缸体
- 9-链轮

图2-9 桑塔纳时代超人2000GSI型轿车AJR发动机的气缸体及相关零件（龙门式）

二、气缸盖与气缸垫

(一) 气缸盖

- 1、基本组成： 气缸盖上应有进、排气门座及气门导管和进、排气门通道等。
- 2、作用：
 - (1) 密封气缸上部
 - (2) 构成燃烧室（与气缸壁和活塞顶一起）
 - (3) 构成供给系中进、排气系统及冷却系、润滑系的一部分（铸有进、排气通道及冷却水套或散热片、润滑油道）
- 3、要求：
 - (1) 耐高温、高压
 - (2) 耐腐蚀
 - (3) 足够的刚度和强度
- 4、材料：
 - (1) 铝合金压铸：
(汽油机及少数柴油机)
 - a、导热性好
 - b、质量轻
 - c、铸造流动性好（风冷发动机散热片铸造容易）
 - d、刚度低：易变形→导致漏气、漏水
 - f、强度低：气缸盖螺栓孔易拉毛
 - g、不耐高温：超过350℃，强度急剧降低
 - (1) 降低热负荷，避免热应力过大而开裂
 - (2) 可提高压缩比（汽油机）
 - (2) 灰铸铁或合金铸铁：
(大部分柴油机)
 - a、刚度、强度高
 - b、耐高温
 - c、导热性差：缸盖底面鼻梁区易开裂
 - d、质量重

5、结构特点:

(1) 多缸发动机

- a、单体气缸盖：每缸一盖，刚性好，制造容易，维修方便，但缸心距较长，曲轴容易弯曲。
- b、整体气缸盖：只有一盖，缸心距最短，发动机紧凑，曲轴刚性好，但气缸盖刚性差，制造困难，维修成本增加。（现代发动机大部分采用）
- c、组合气缸盖：如两缸一盖，便于系列化。

(2) 按所用燃料分

- a、汽油机：
 - (1) 气缸盖中心加工有装火花塞的孔
 - (2) 进、排气道一般铸在气缸盖的一侧（进气管布置在排气管的上部，利用废气加热进气管壁面油膜，促进雾化），但现代汽油机采用半球形燃烧室时则进、排气道铸在气缸盖的两侧
 - (3) 燃烧室在气缸盖上，气缸盖底部有凹坑。
- b、柴油机：
 - (1) 气缸盖中心加工有装喷油器的孔
 - (2) 进、排气道铸在气缸盖的两侧（避免进气加热，影响充气效率，降低发动机功率）
 - (3) 车用中小功率柴油机的气缸盖底部没有凹坑（直喷式燃烧室一般在活塞顶上，分开式燃烧室则在气缸盖内部）。

(3) 按冷却方式分:

- a、水冷：内铸水套，入水口与气缸体上水套相通，上部出水口通过节温器与散热器入水口相通。
- b、风冷：外铸散热片，平行于来流方向。

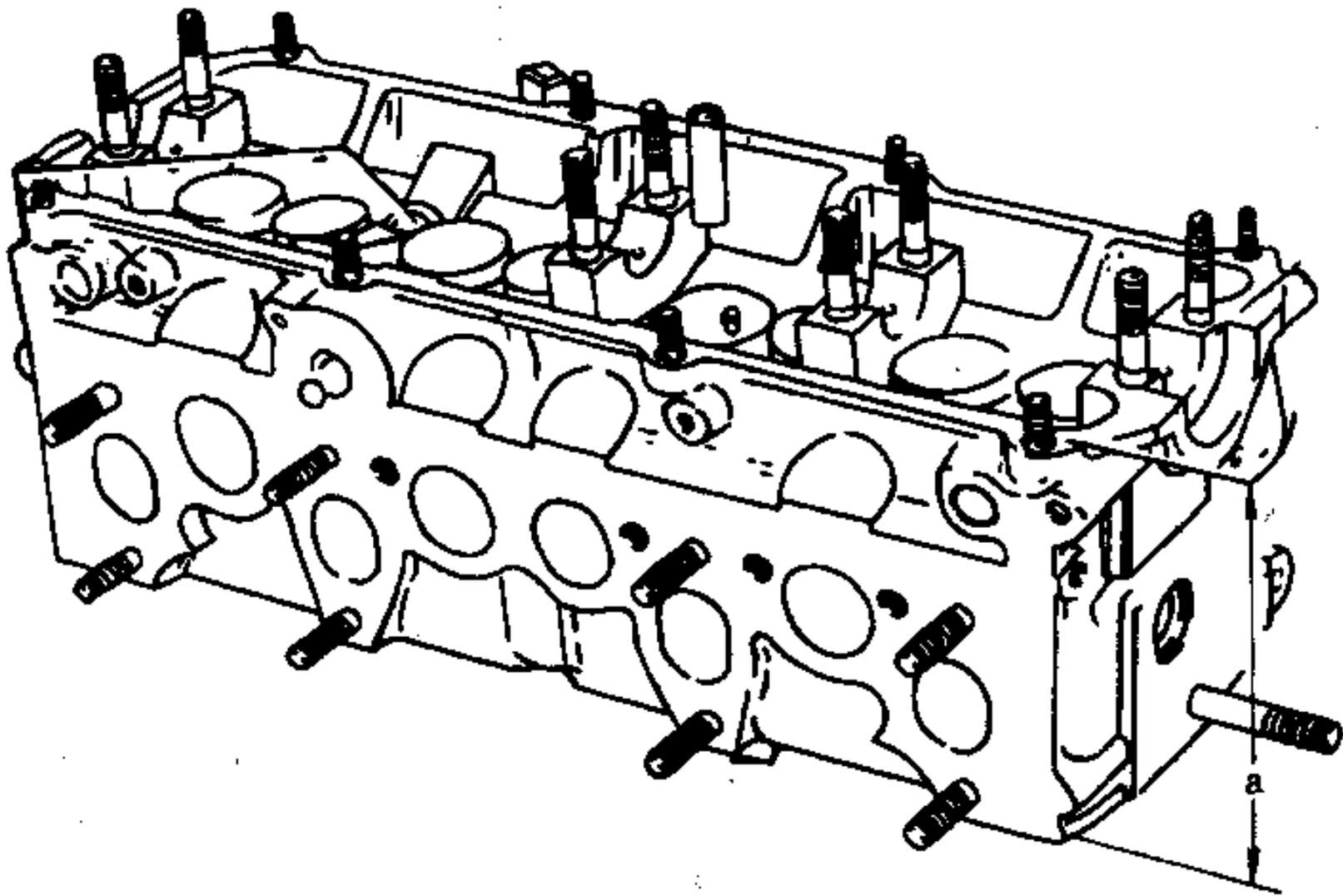


图2-10 捷达轿车发动机的气缸盖（进、排气管在同侧，顶置凸轮轴）

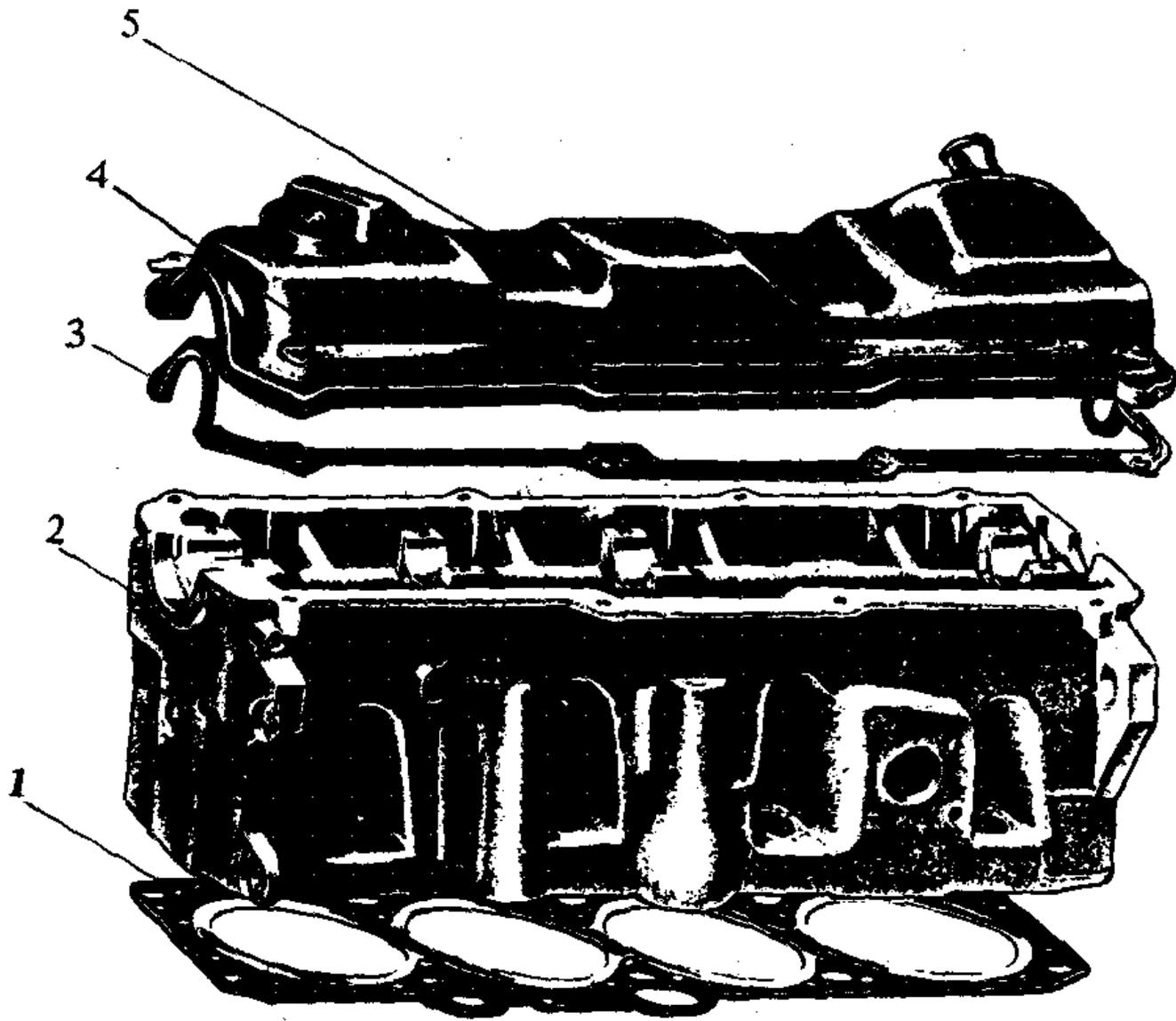


图2-11 进、排气管在同一侧的桑塔纳轿车发动机气缸盖

1-气缸垫

2-气缸盖

3-衬垫

4-压条

5-气缸盖罩

(顶置凸轮轴)

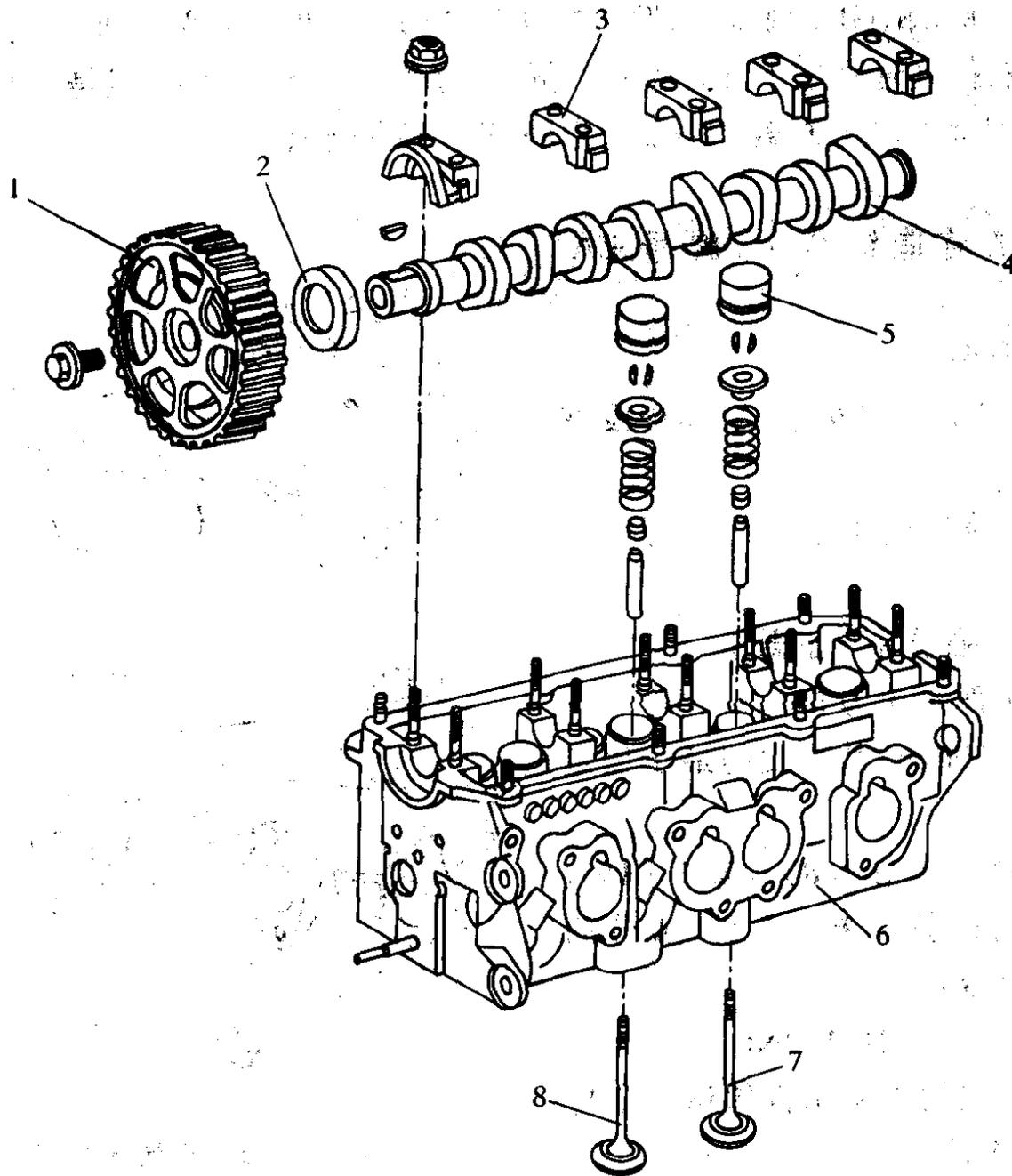


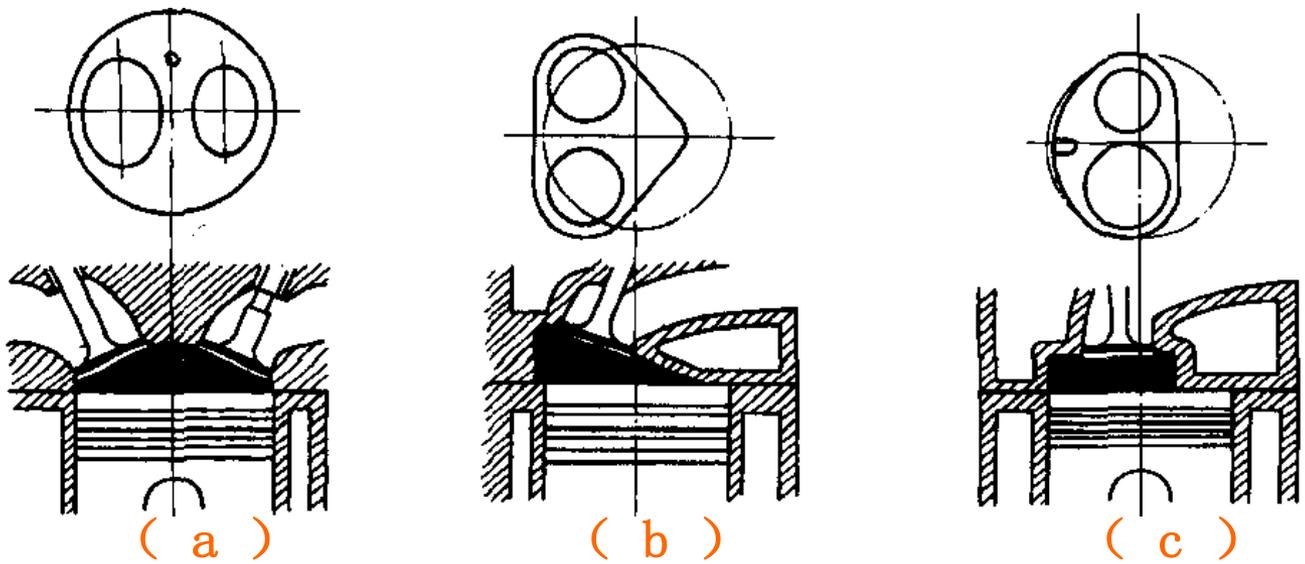
图2-12 桑塔纳时代超人2000GSI轿车AJR发动机气缸盖及相关零件（进、排气管在两侧，顶置凸轮轴）

- 1-凸轮轴同步带轮
- 2-凸轮轴油封
- 3-凸轮轴轴承盖
- 4-凸轮轴
- 5-液压挺杆
- 6-气缸盖
- 7-进气门
- 8-排气门

6、汽油机燃烧室：

- (1) 要求：
- a、结构尽可能紧凑， F/V 小
 - b、压缩终了时能形成一定强度的挤压涡流
- { 减少热量损失 }
 { 缩短火焰传播距离 }
- { 提高火焰传播速率 }
 { 促进油、气混合 }
- 促使混合气 { 及时 }
 { 充分 } 燃烧
- 提高 $\epsilon \rightarrow \eta_i \uparrow$

- (2) 结构形式：
- a、楔形燃烧室 { 结构较简单、紧凑 }
 { 压缩终了时能形成挤压涡流 } (红旗轿车、切诺基越野车、解放CA1091货车)
 - b、盆形燃烧室 { 结构较简单、紧凑 }
 { 能形成进气涡流 } (捷达、奥迪轿车、北京吉普)
 - c、半球形燃烧室 { 结构最为紧凑， ϵ 高 }
 { 配气机构复杂 (进、排气门分置两侧，气门倾斜，气门传动困难) }



(桑塔纳、富康、夏利轿车)

图2-13
汽油机燃烧室形状
(a) 半球形燃烧室
(b) 楔形燃烧室
(c) 盆形燃烧室

(二) 气缸垫

1、作用：密封 { 燃气
冷却水、机油

2、要求： { (1) 一定的强度要求
(2) 耐热、耐腐蚀
(3) 一定的弹性 { a、密封（变形以补偿结合面的不平度）
b、能重复使用（ ϵ 在一定公差内）

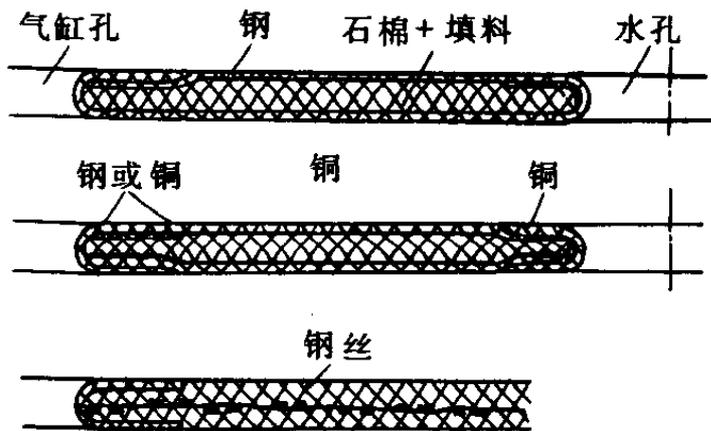
3、材料与结构：

(1) 金属+石棉：石棉中间夹有金属丝或金属屑，且外覆铜皮或钢皮，水孔和燃烧室孔周围另用镶边增强，以防被高温燃气烧坏，常用，有很好的弹性和耐热性，能重复使用，但制造厚度均一性较差，使用时注意光滑面朝气缸体，否则容易被燃气或冷却水冲坏。

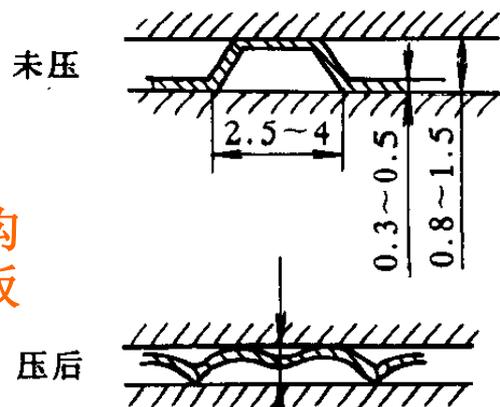
(2) 金属片：带凸纹，强度高，冲压

低碳钢板
铜板
铝板

适用于增压等强化发动机



(1)



(2)

图2-14
气缸盖衬垫的结构
(1) 金属-石棉板
(2) 冲压钢板

4、气缸盖螺栓的拧紧次序：

必须由中央对称地向四周扩展的顺序分几次进行，最后一次要用扭力扳手按工厂规定的数值拧紧，一则保证密封性，二则避免损坏气缸垫，三则保证压缩比的一致性。铝合金制成的气缸盖到最后必须在发动机冷的状态下拧紧，这样，发动机热起来时会增加密封性，因为铝合金气缸盖的热膨胀比钢螺栓的大；铸铁气缸盖则一般在发动机热车时最后拧紧，因为装配时拧紧的螺栓在发动机工作初始后不久会松弛。

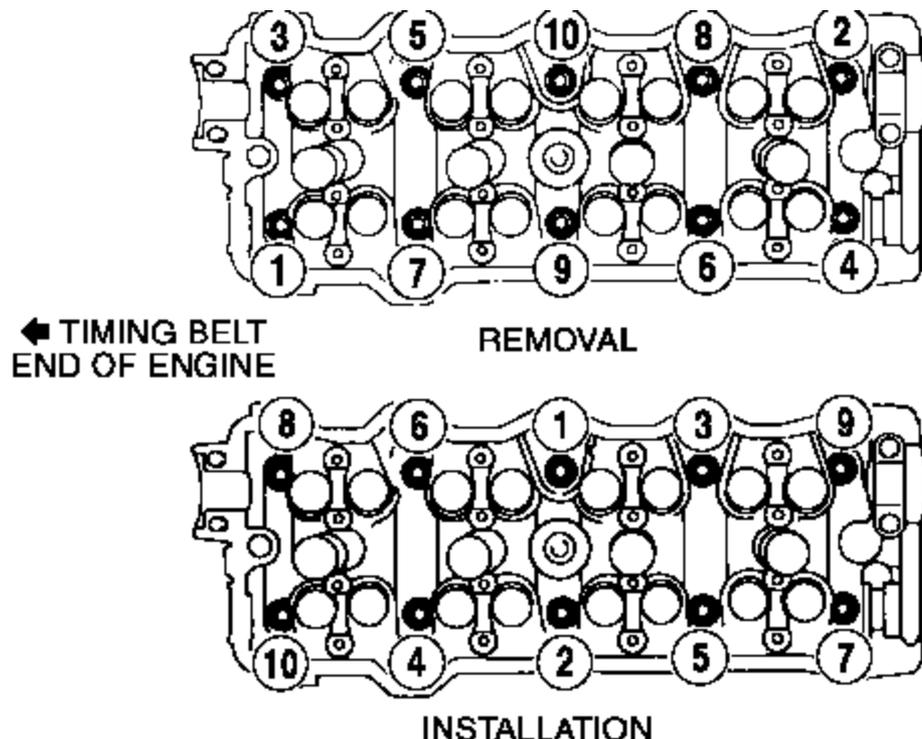


图2-15 丰田佳美3S-FE发动机气缸盖螺栓的拆、装卸顺序

三、油底壳

- 1、作用：储存机油并密封曲轴箱。
- 2、要求：
 - (1) 结合面平整，密封性好
 - (2) 刚性好，避免振动、机械噪声过大
 - (3) 散热性好
- 3、材料与结构：

一般用薄的低碳合金钢板冲压而成，为了加强油底壳内机油的散热，也有的发动机采用铝合金铸造的油底壳，油底壳底部铸有散热肋片。

油底壳形状决定于发动机的总体布置和机油容量，后部一般做得较深，以便发动机纵向倾斜时机油泵能吸到机油。油底壳内还设有挡油板，避免油面波动太大，机油泵吸进气泡，供油不畅。油底壳底部装有磁性放油塞，以便吸集机油中的金属屑，减少发动机运动零件的磨损。

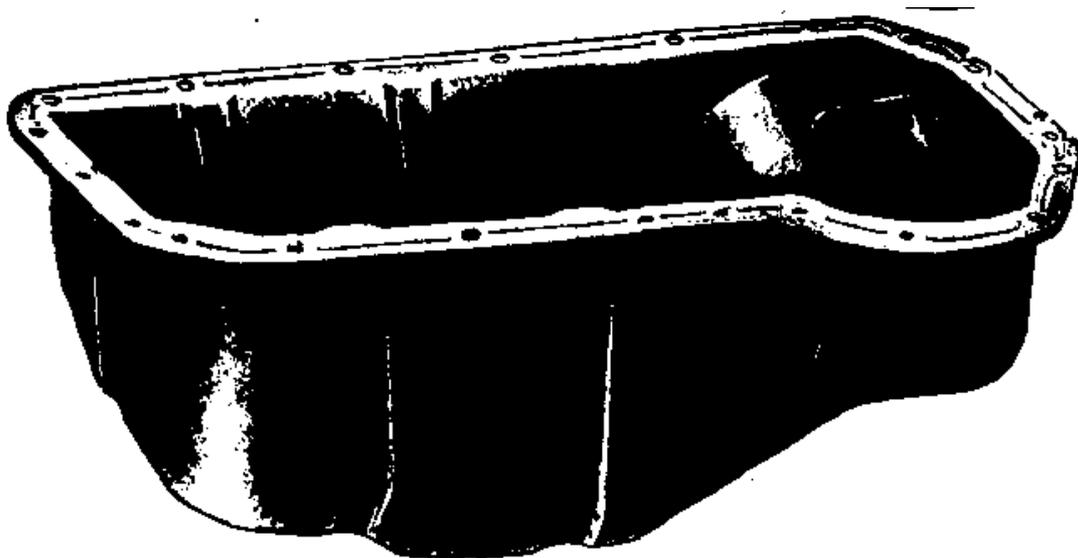


图2-16 桑塔纳轿车油底壳结构