
船机制造工艺学

Shipping machinery manufacture process

教师：王静思

大连海事大学轮机工程学院

Lecturer: Jingsi WANG

Marine engineering college of DMU

第四章 典型船机零件的制造工艺

Chapter 4 Manufacture processes of typical workpieces

内容回顾：

内容提要：

第一节 活塞制造工艺

第二节 连杆制造工艺

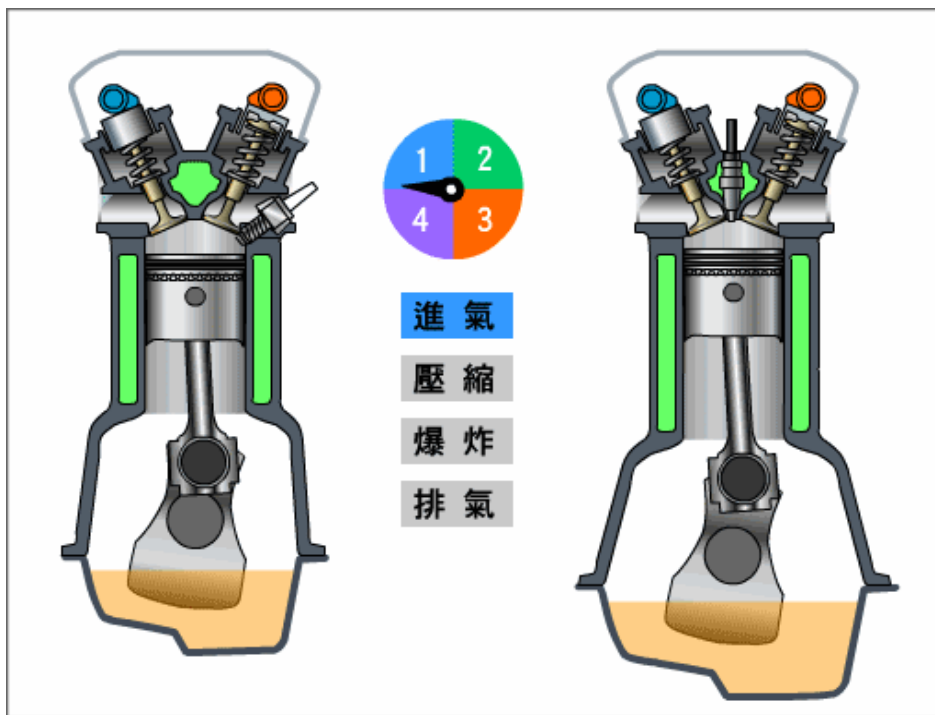
第三节 曲轴制造工艺

第四节 活塞环制造工艺

第一节 活塞制造工艺

Part 1 Manufacturing of piston

主要作用、工作条件、特点、结构？



- 承受气体压力（**承压**）
- 将力通过连杆传递给曲轴（**传力**）
- 与气缸盖、汽缸壁组成燃烧室（**燃烧室**）

高温高压下作长期连续往复运动

活塞的结构

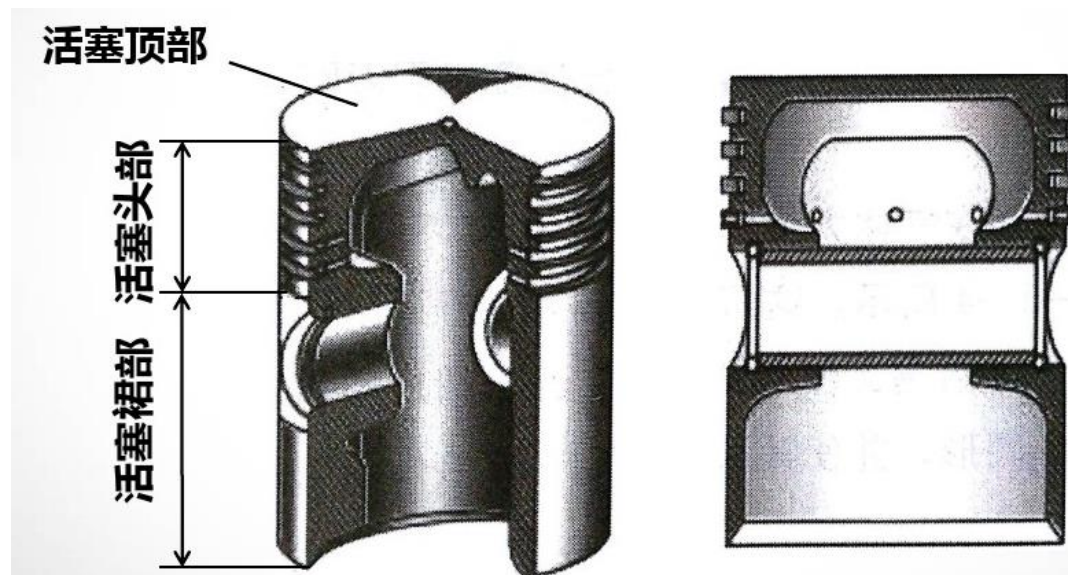
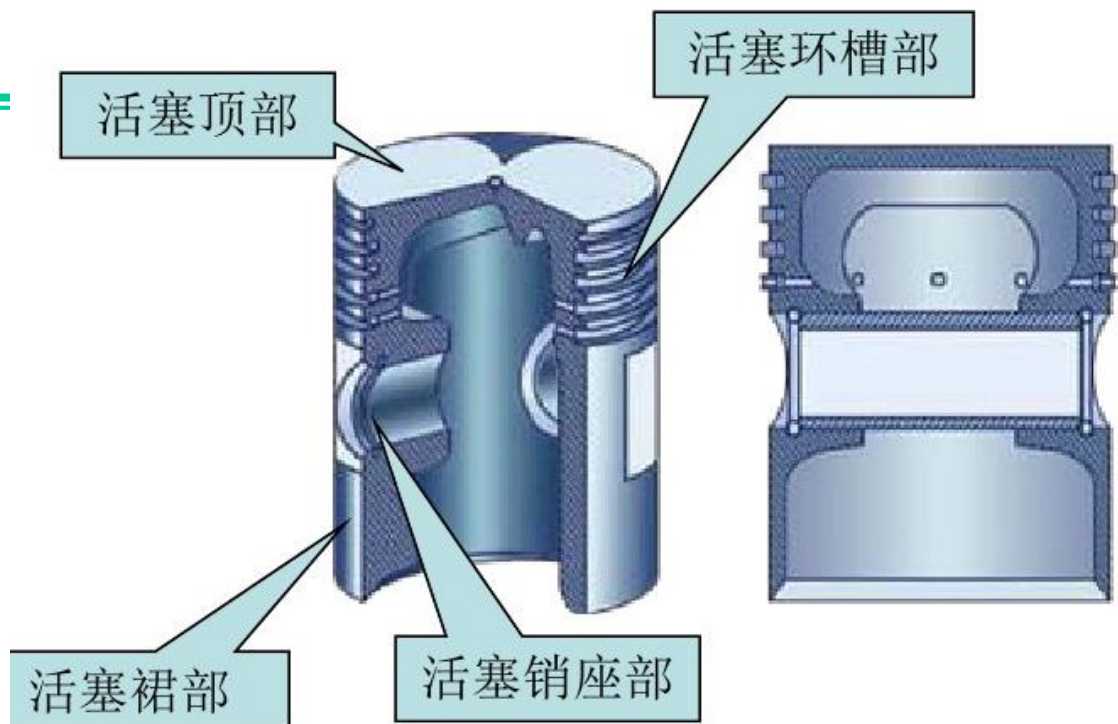
活塞基本构造

活塞顶部

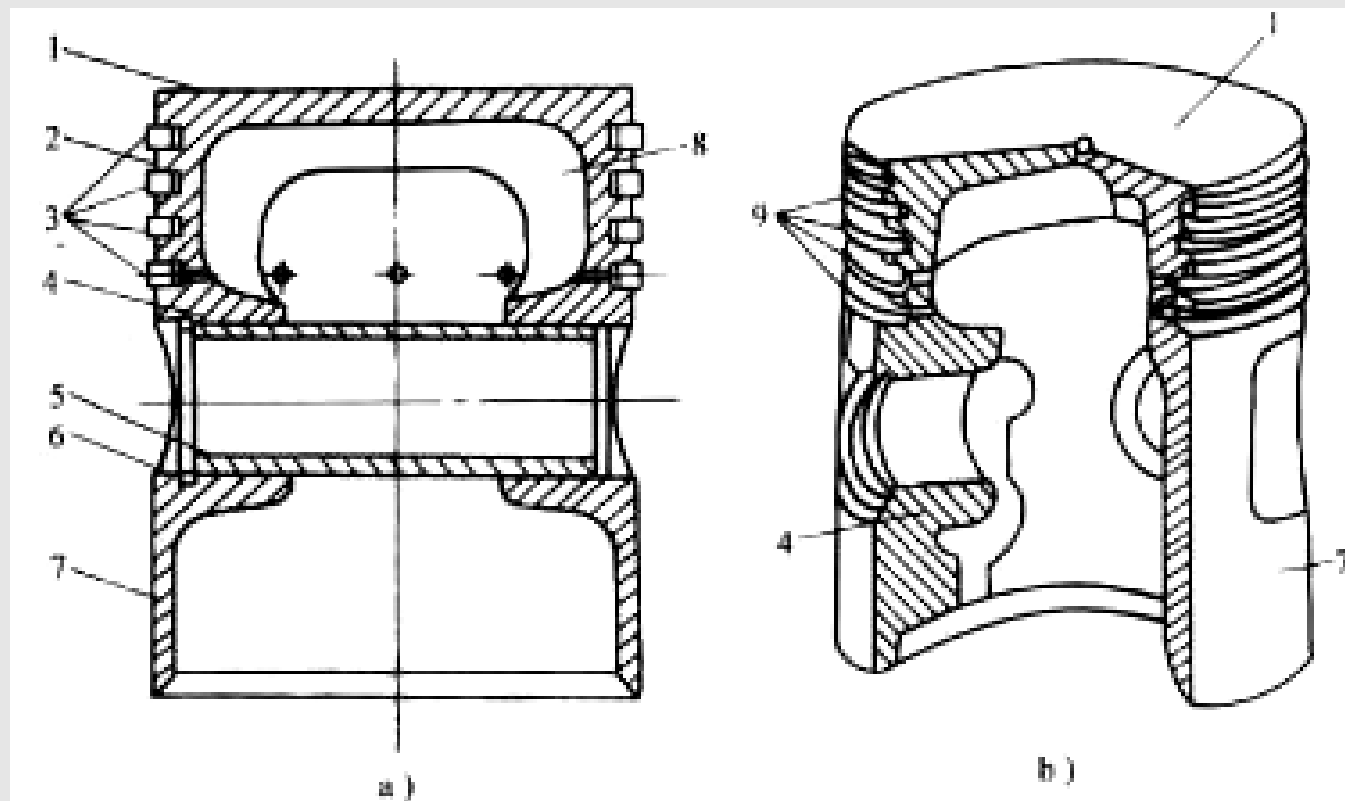
活塞环槽部

活塞销座部

活塞裙部



活塞的结构



活塞结构剖视图

a) 全剖

b) 部分剖

1- 活塞顶 2- 活塞头 3- 活塞环 4- 活塞销座 5- 活塞销
6- 活塞销销环 7- 活塞裙 8- 加强筋 9- 环槽



一、活塞的材料、毛坯和加工技术要求

活塞需满足的条件

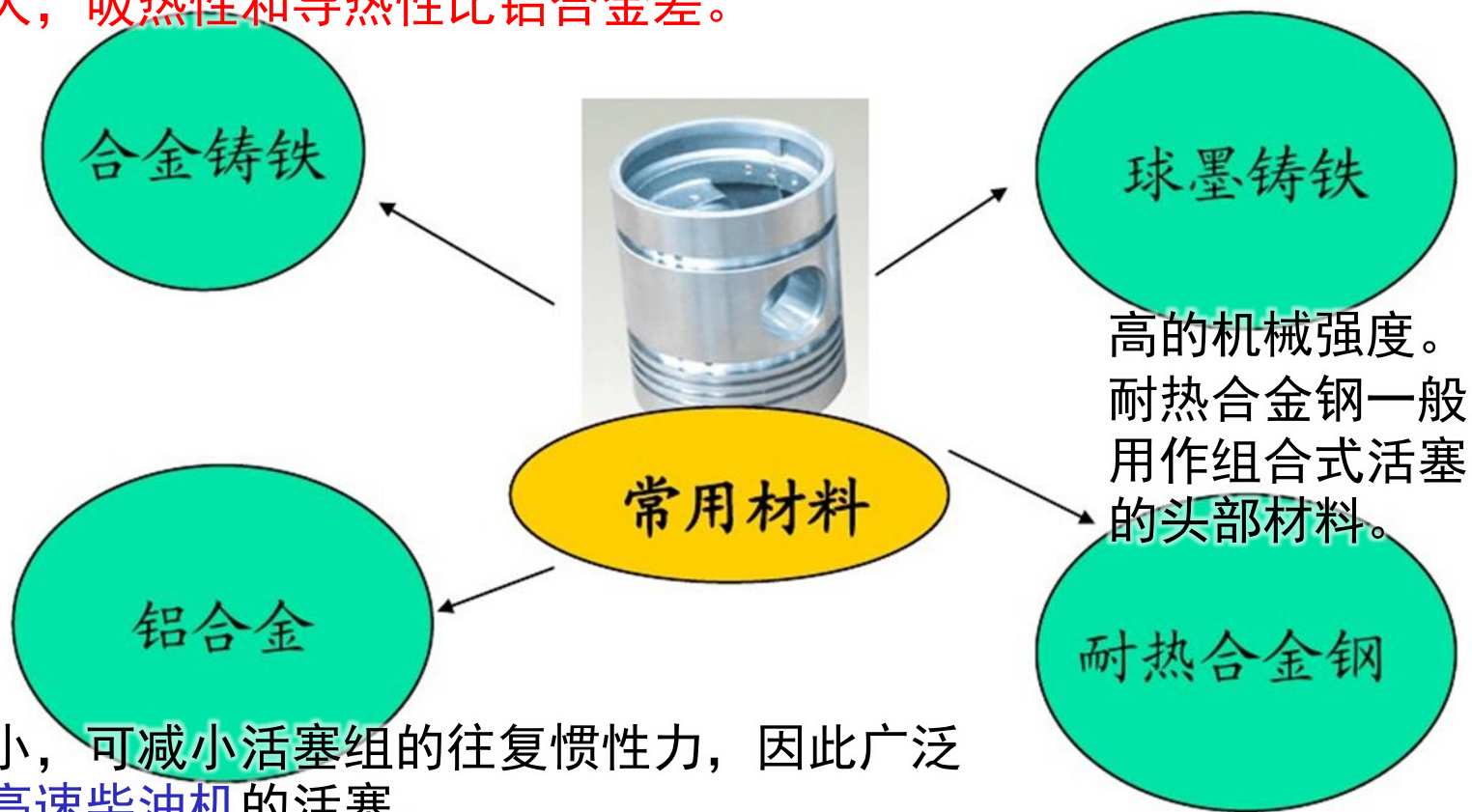
在保证强度和刚度足够的前提下，尽可能减轻质量；

尽量减少活塞顶从燃烧气体吸收热量，又能尽快将所吸收的热量散走，防止活塞过热；

既要保证燃烧室良好的气密性，又应尽可能减少活塞组的摩擦损失；

摩擦副具有良好的润滑、较小的磨损以及较少的润滑油消耗量。

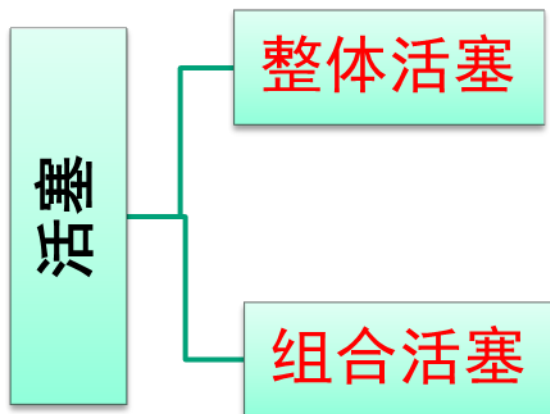
较高机械强度、较小热膨胀系数以及良好的耐磨和耐腐蚀性价格低，工艺性好
密度大，吸热性和导热性比铝合金差。



密度小，可减小活塞组的往复惯性力，因此广泛用于高速柴油机的活塞。

热强度较差，热膨胀系数较大，与气缸套的冷态配合间隙大，在冷车启动和低负荷运转时，加剧活塞对气缸套的撞击。

1、活塞的材料与毛坯 (Blanks & materials)



- **铸铁**：灰口铸铁、球墨铸铁→中、低速
- **铝合金**：主要Al-Si →中、高速
- **铸钢、陶瓷、碳材料**→高速

→强载的中、高速大功率

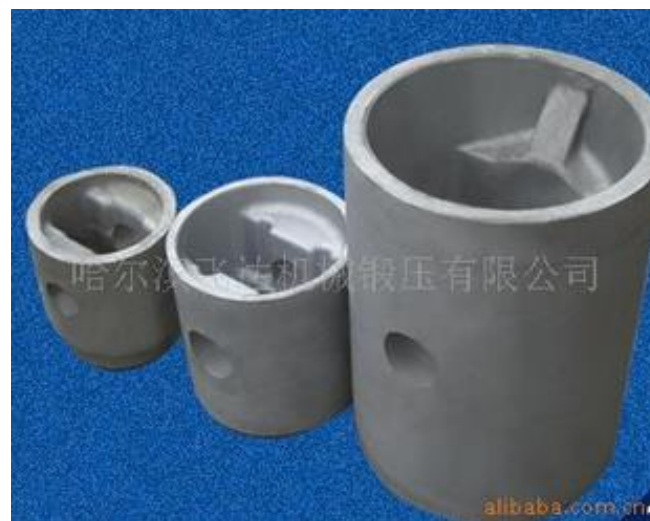
- **活塞顶**：铸钢、锻钢、球铁、12CrNiMo4
- **下体(裙部与销座)**：铸铁、铸铝、锻铝

整体式铸铁活塞毛坯：

- 砂模浇铸
- 金属模浇铸

整体式铝活塞毛坯：

- 重力铸造、
- 低压铸造与锻造



毛坯主要成形方法的特点

- 重力铸造成本低，但是强度稍差，生产率低，应用于普通低负荷柴油机；
- 锻造活塞的强度比铸造活塞高，导热性也较好，但是锻造成本高，对工艺要求严格，仅用于高强度柴油机；
- 低压铸造工艺对提高材料性能大有好处，高温时强度下降较小，制造成本低，应用范围不断扩大；
- 此外，液态模锻也是一种进一步提高活塞毛坯质量的新工艺，即是将定量的液体金属浇入金属模具内，用冲头加压，使液体金属在压力下结晶凝固，组织紧密、晶粒细小均匀、表面光滑。该工艺兼有锻造和铸造的特点，能消除铸造缺陷，提高毛坯质量。

*典型活塞的材料

活塞材料	种类和特性	特点	
铝合金	Al-Cu-Ni-Mg 系 (被淘汰) Al-Cu-Si 系 (被淘汰) 共晶Al-Si-Cu-Mg 系 过共晶Al-Si-Cu-Mg 系(Si: 7%~26%)	•密度小、导热性好。 •热强度不高、线膨胀系数较大。	ZL108采用最多。
铸铁	灰口铸铁、球墨铸铁：珠光体基体，石墨为片状、点状或球状。 合金铸铁：含Cr、Ni、Mo、V、Cu等合金元素。	•热强度和耐磨性较高而线膨胀系数较小。 •密度较大。	
铸钢		•机械强度高，耐热性、耐蚀性及耐磨性均优于铝合金和铸铁。 •密度大、成本高，对缸套的磨损严重。	
陶瓷	•采用陶瓷镶块：钛酸铝、氧化锆和氮化硅等； •采用陶瓷涂层：常用材料为氧化锆。	•质量轻、耐磨、绝热性好、高温强度高。	

*典型活塞的毛坯制造工艺

- **金属型铸造加工**：简单，成本较低，易产生缺陷。
- **锻造活塞**：力学性能高，生产成本低。
- **挤压铸造（液态模锻）**：介于两者之间。

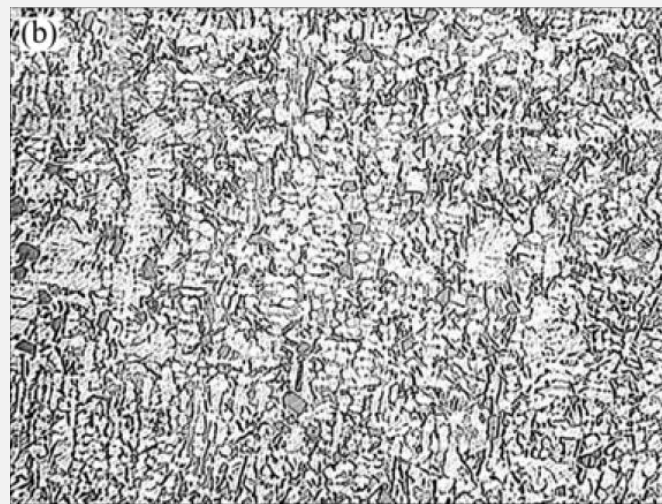
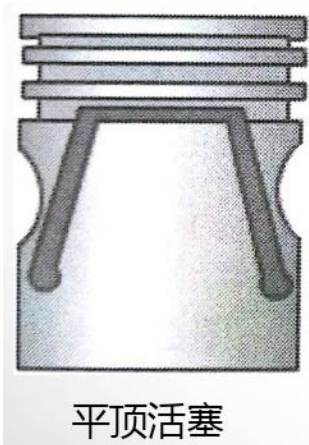


图1 金属型铸造(a)和挤压铸造(b)活塞显微组织

2、活塞加工技术要求 (Demands)

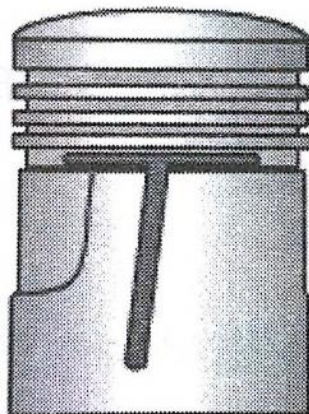
(1) 活塞各部位要求

① 活塞顶部



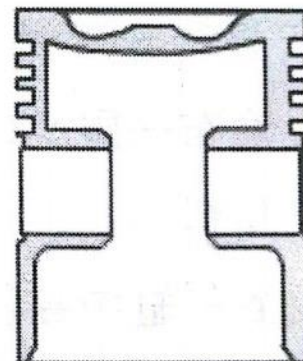
平顶活塞

平顶活塞顶部为一个平面，结构简单，制造容易，受热面积小，一般应用在汽油机上。



凸顶活塞

凸顶活塞顶部强度高，起导向作用，有利于改善换气过程。



凹顶活塞

凹顶活塞可以通过改变活塞顶上凹坑的尺寸来调节发动机的压缩比，多用于柴油机。



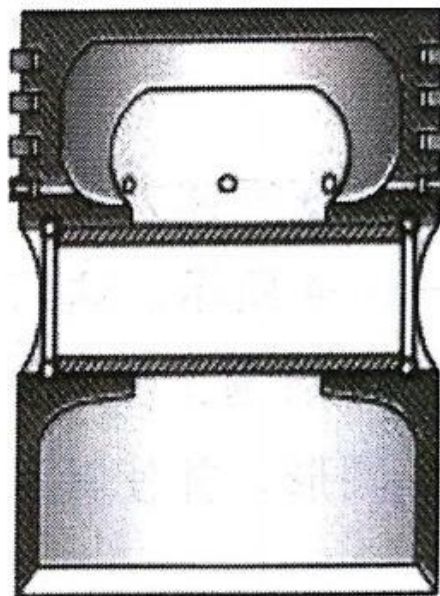
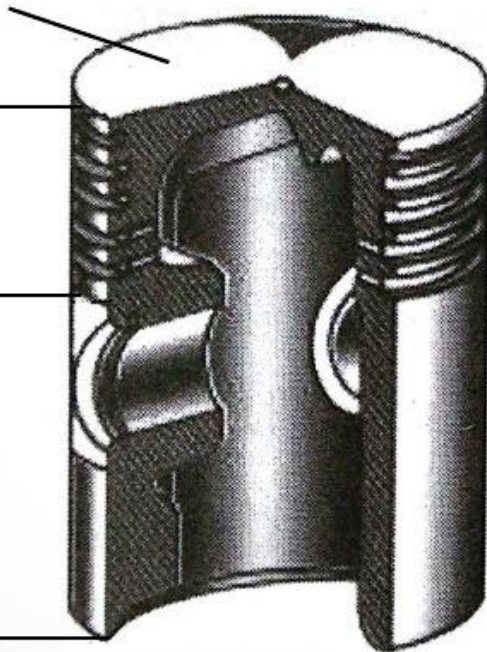
考虑进排气阀的布置情况，顶部还加工出避阀坑：为气门提供足够空间，使进排气顺畅，同时节省空间。

活塞顶厚度 δ 要根据强度、刚度和散热条件来确定：
 δ 值越大，顶部热应力也越大，因此在满足强度要求的前提下，尽量使 δ 取得小些。

② 活塞头部

活塞顶部

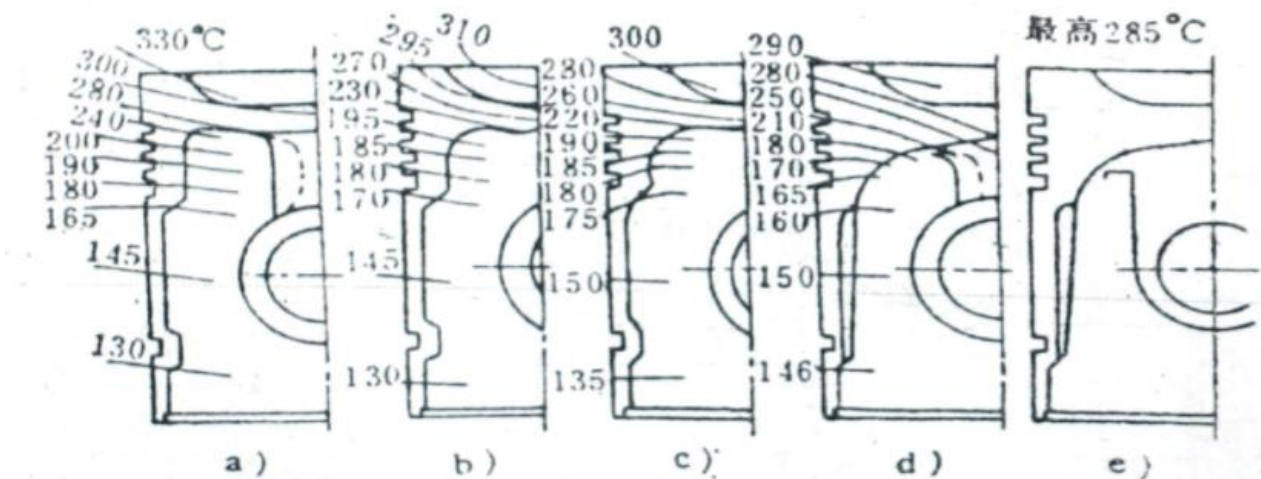
活塞头部
活塞裙部



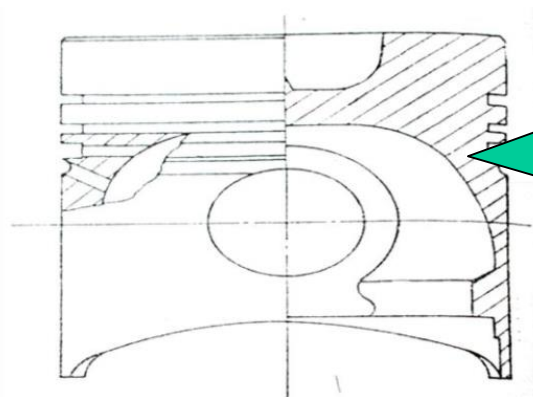
活塞头部是活塞环槽及其上部分。

主要作用：

- 承受气体压力，并传递给连杆；
- 环槽部安装活塞环，与活塞环一起实现气缸的密封；
- 将活塞顶部所吸收的热量通过活塞环传递给汽缸壁。



铝活塞头部截面形状对温度分布的影响



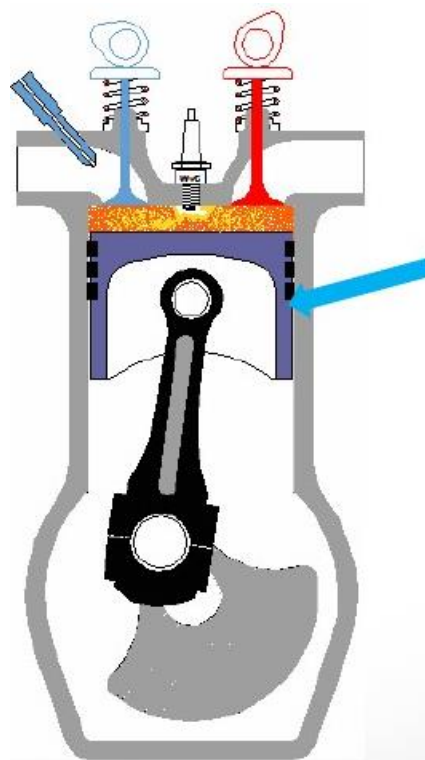
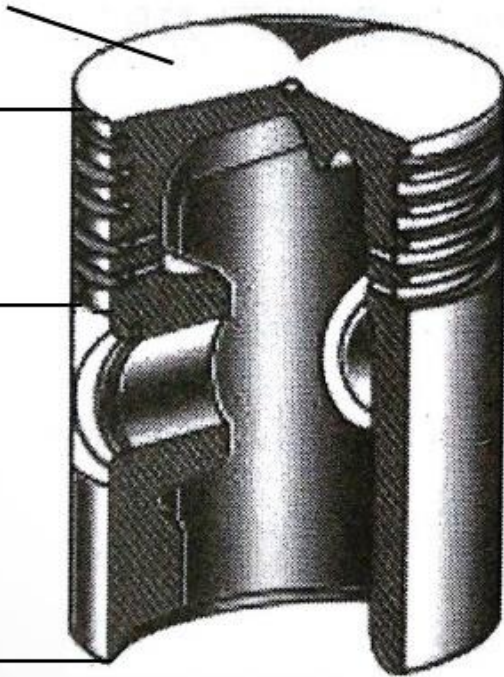
“热流型” 活塞

增加从顶部到裙部的传热截面，将头部热流迅速传出，使活塞头部温度降低。温度降低同时有利于消除应力集中，可提高活塞的承载能力。

③ 活塞裙部

活塞顶部

活塞头部
活塞裙部



有良好的导向

活塞裙部是指从油环下端面到活塞底面的部分。

主要作用：

- 为活塞在缸内做往复运动导向和承受侧压力。

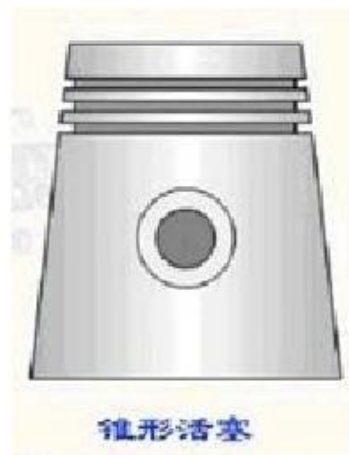
为使活塞在各种工况下均能与汽缸壁间保持均匀的间隙，活塞通常采用下列结构措施：

(1) 椭圆形活塞

- 如果活塞冷态时裙部为椭圆形，由于热胀冷缩作用，工作时活塞厚端膨胀较多，薄端较少，就会由椭圆变成圆，使活塞与气缸之间圆周间隙相等，发动机可正常工作。
- 椭圆的长轴方向与销座垂直，短轴方向沿销座方向。活塞工作时趋近正圆。



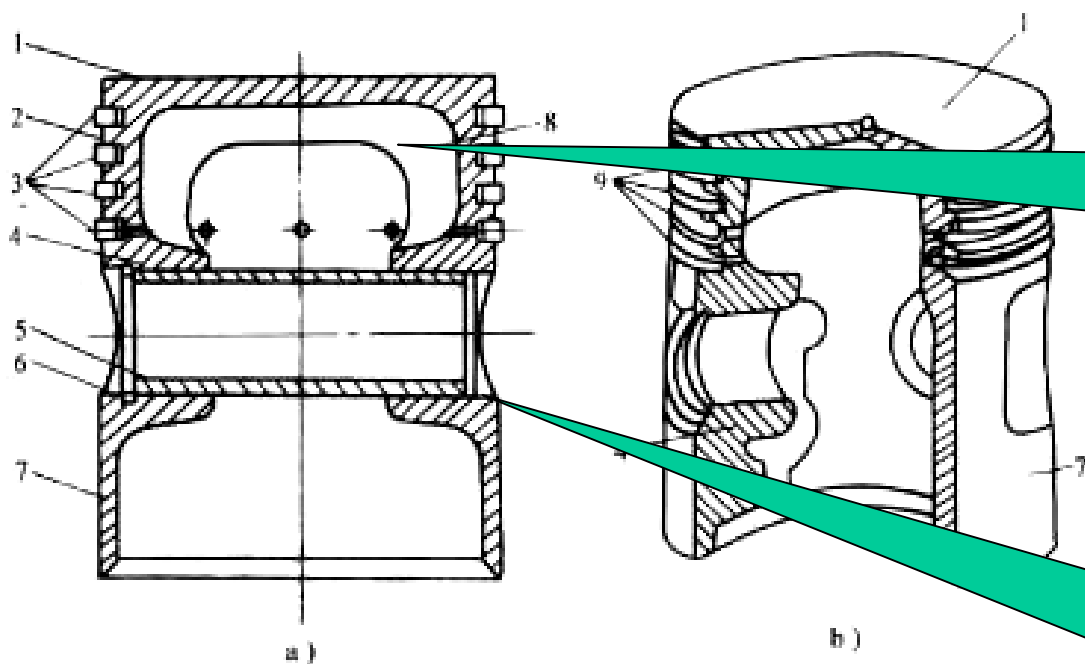
(2) 锥形、阶梯型活塞



- 活塞沿高度方向的温度很不均匀，活塞的温度是上不高、下部低，膨胀量也是相应上部大、下部小。因此做成上小下大形状使活塞工作时上下直径趋于相等。

④ 活塞销座

- 将活塞顶部气体作用力经活塞销传给连杆。



活塞结构剖视图

a) 全剖

b) 部分剖

1- 活塞顶 2- 活塞头 3- 活塞环 4- 活塞销座 5- 活塞销
6- 活塞销销环 7- 活塞裙 8- 加强筋 9- 环槽

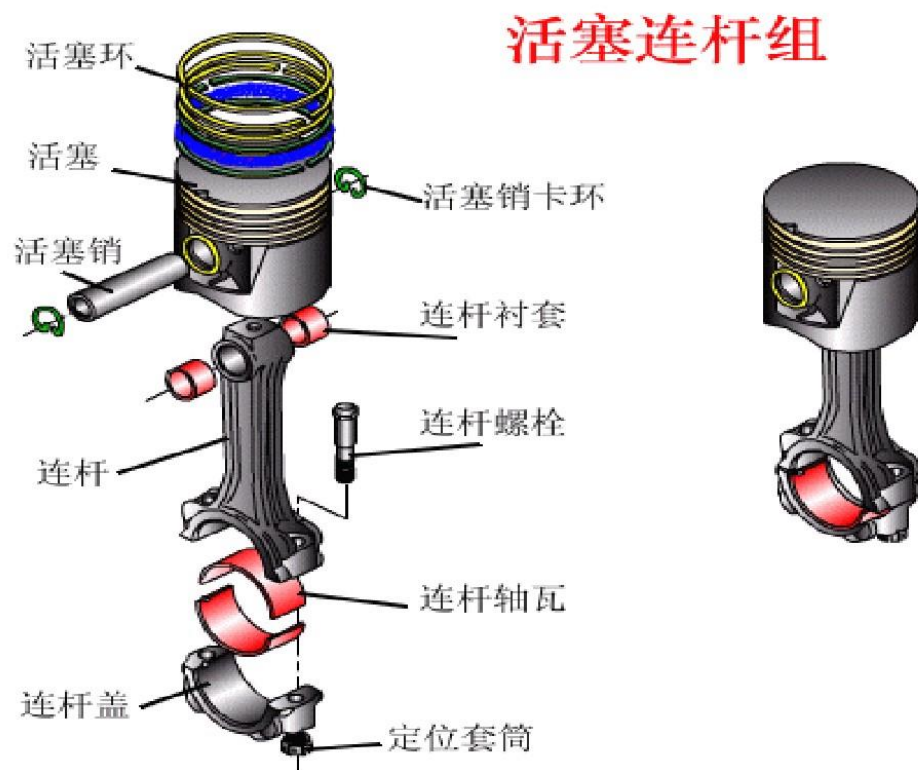
为减少受力变形，在顶部与销座之间要设置加强筋。

为提高销座的承载能力，在销孔中常压入锻铝或青铜衬套。

活塞销连接分类：

- **全浮式**：在发动机正常工作温度下，活塞销在连杆小头孔和活塞销座孔中都能转动。
- **半浮式**：销与销座孔和连杆小头两处，一处固定，一处浮动（一般固定连杆小头）。销与小头过盈配合，省去连杆衬套。

活塞销的磨损均匀。
注意：间隙要合适，既不能引起额外冲击，也不能防止润滑。



⑤ 活塞环与环槽间的间隙

环槽部分切有若干道用以安装活塞环的槽



- 顶部的环槽装有气环，一般为2~3道；下面的环槽装有油环1~2道。
- 第一道环槽工作条件最恶劣。
- 在油环槽底面上钻有许多径向小孔，使被油环从气缸壁上刮下的机油经过这些小孔流回油壳底。

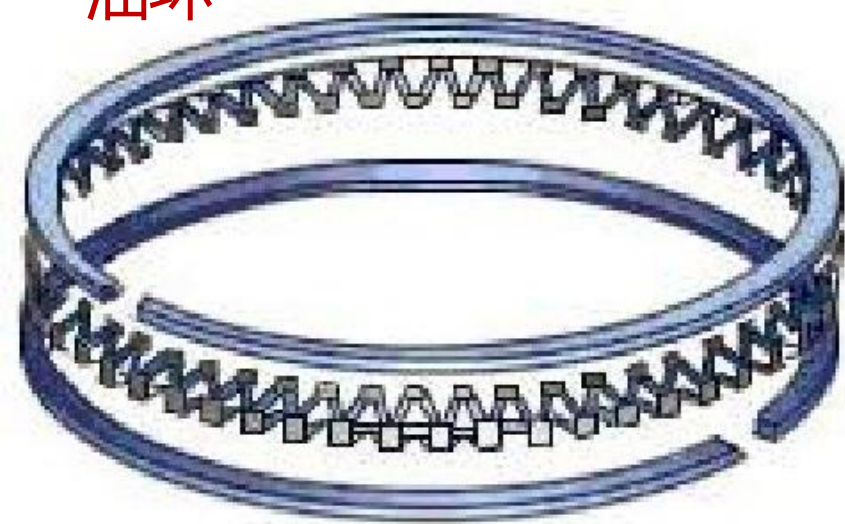
气环作用：

- 密封：防止气缸内的气体窜入油底壳
- 传热：将活塞头部的热量传给气缸壁
- 辅助刮油、布油

油环作用：

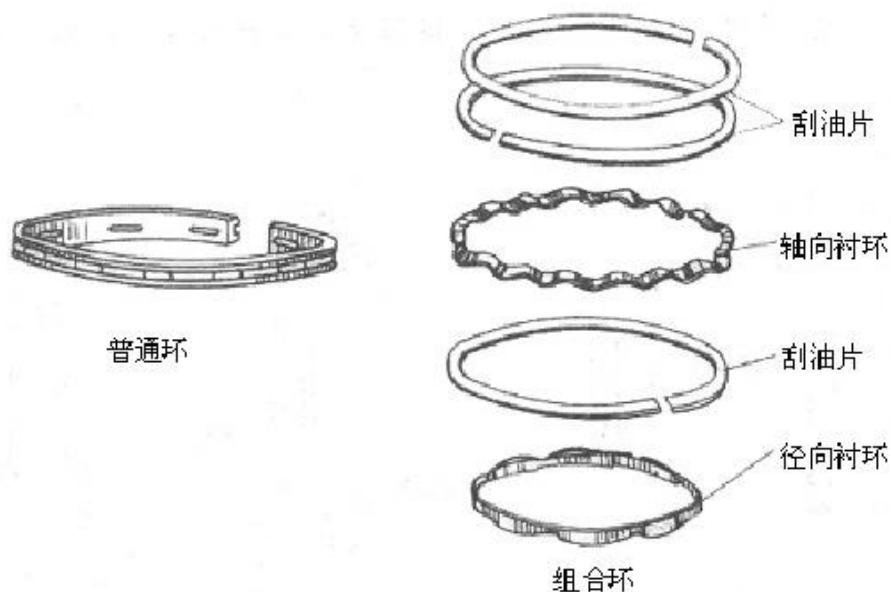
- 刮油：将气缸壁上多余的润滑油刮下来

油环



整体式：

外圆上切有环形槽，槽底开有回油用的小孔或窄槽。



组合式：

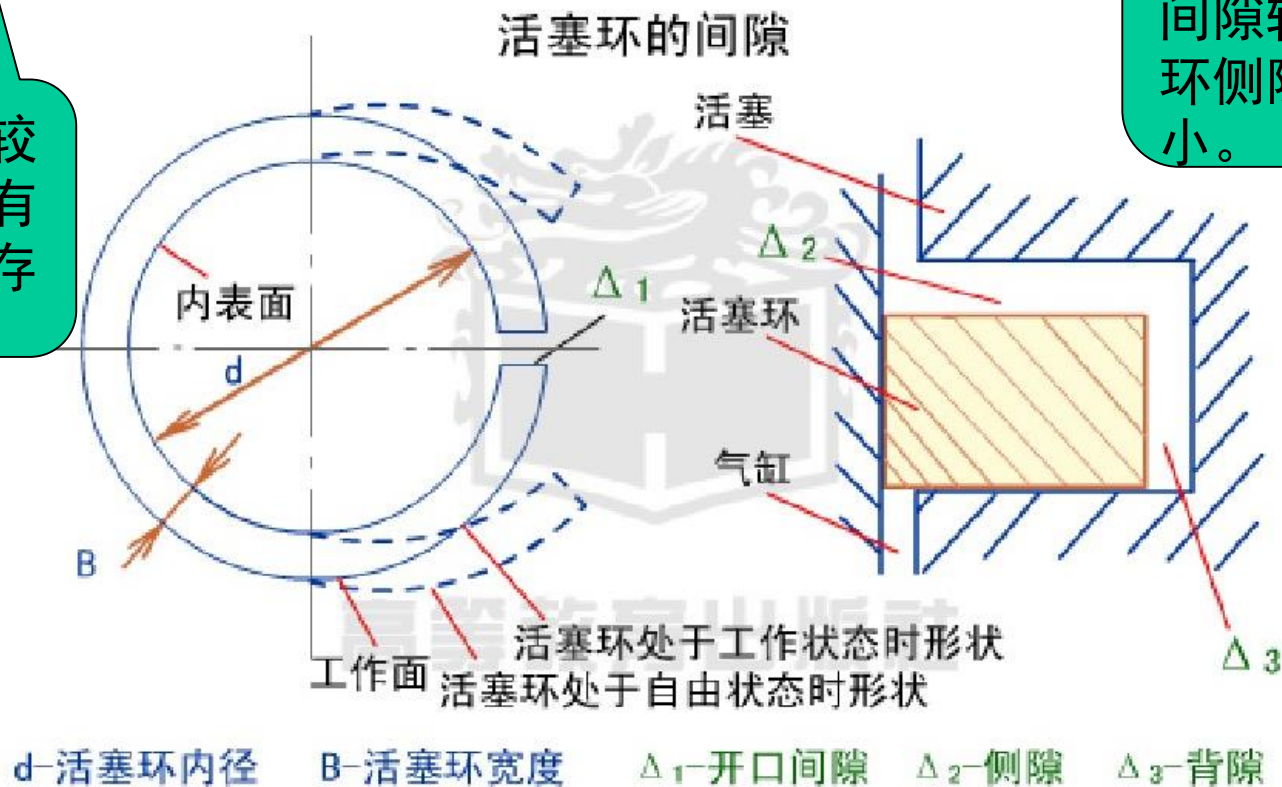
由上下刮油片和产生径向、轴向弹力的衬簧组成。

活塞环的间隙

- 开口间隙（活塞装入气缸后开口处的间隙）
- 侧隙（环高方向与环槽之间的间隙）
- 背隙（活塞环背与环槽底部的间隙）

油环背隙较气环大，有利于增大存油间隙。

第一道环因为工作温度高，间隙较大。油环侧隙比气环小。

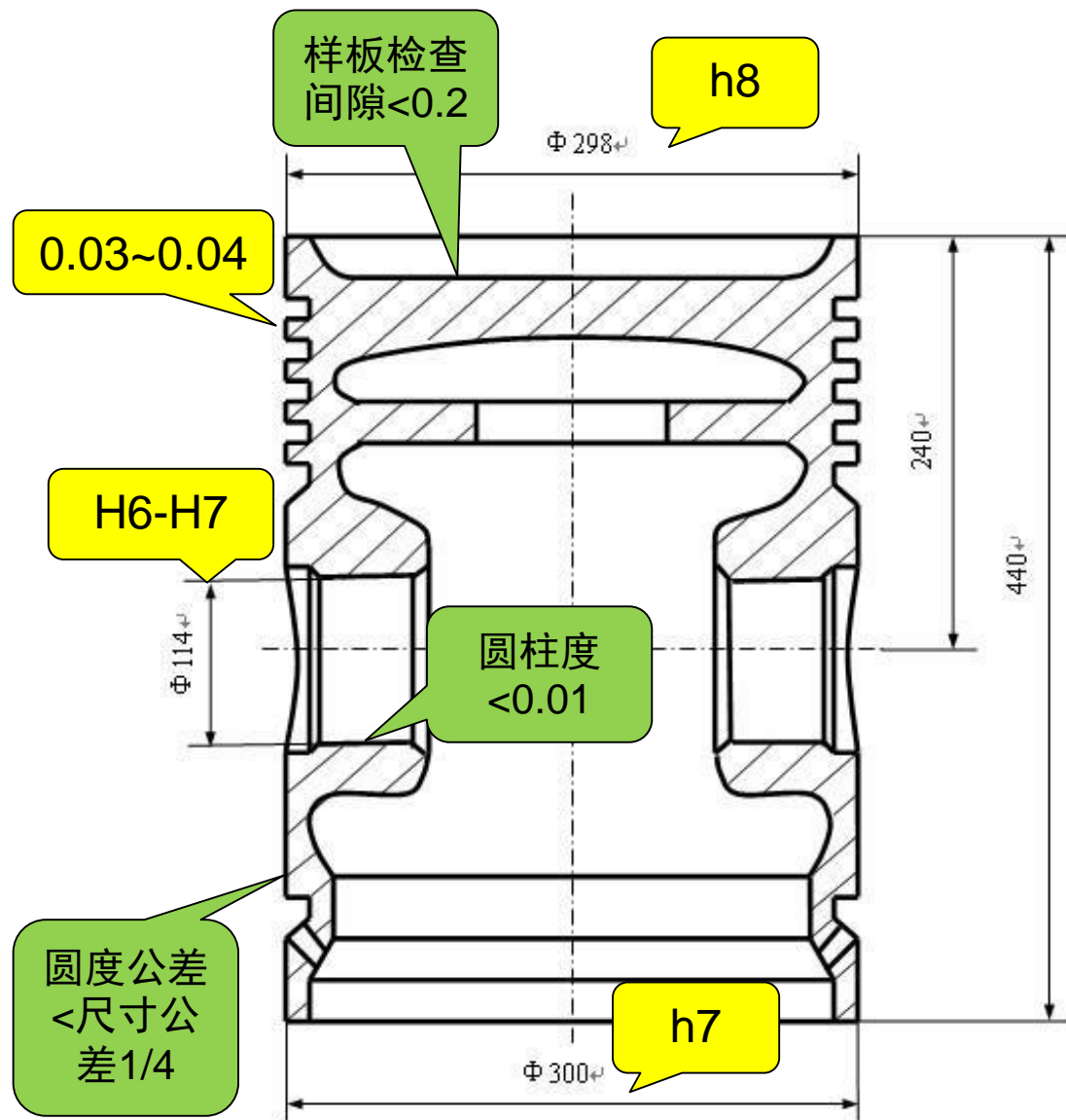


(2) 尺寸精度要求

- 活塞头部；
- 裙部外圆；
- 活塞销孔；
- 环槽高度。

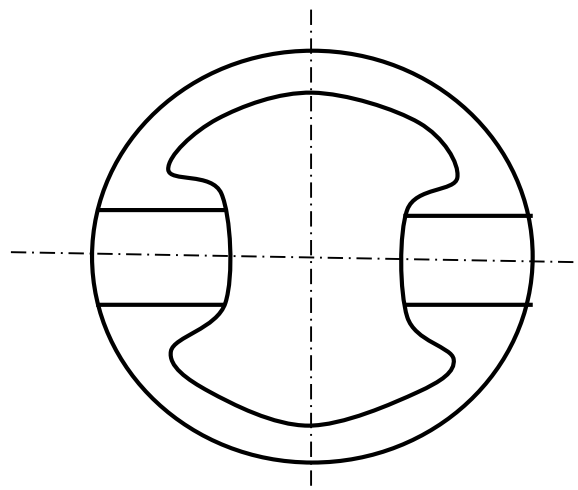
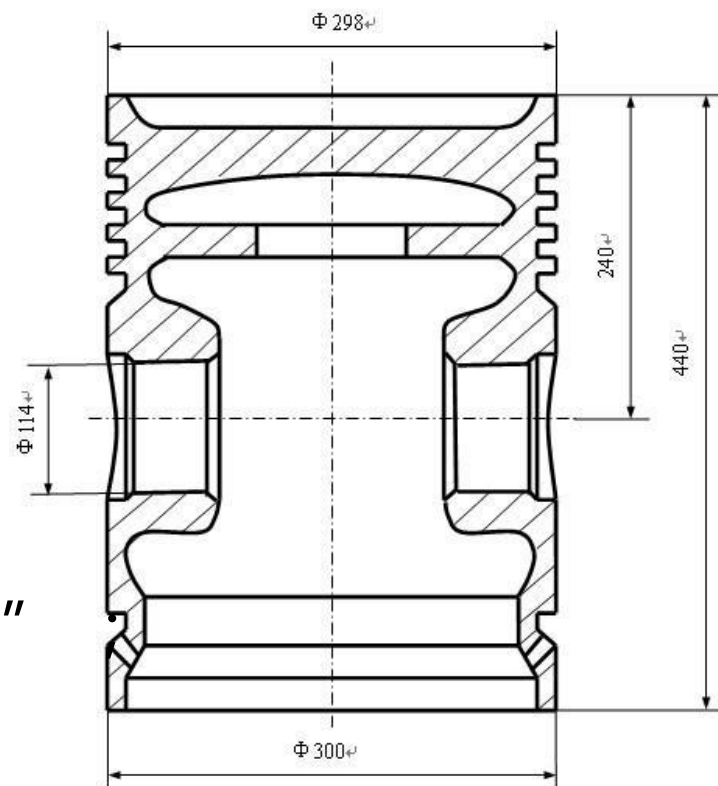
(3) 形状精度要求

裙部的圆度；
销孔的圆度及圆柱度；
活塞顶部成形表面。



(4) 位置精度要求

- 销孔轴线与活塞轴线 “ \perp ” ；
- 销孔轴线与活塞轴线相交；
- 环槽平面与活塞外圆轴线 “ \perp ” ；
- 头端面与活塞轴线 “ \perp ” ；
- (组合) 裙部端面与外圆和内孔 “ \perp ” ；
- (组合) 头外圆对裙外圆 “ \odot ” ；
- 减磨环外圆与裙部外圆 “ \odot ” ；
- 活塞销孔轴线 “ \odot ” 。



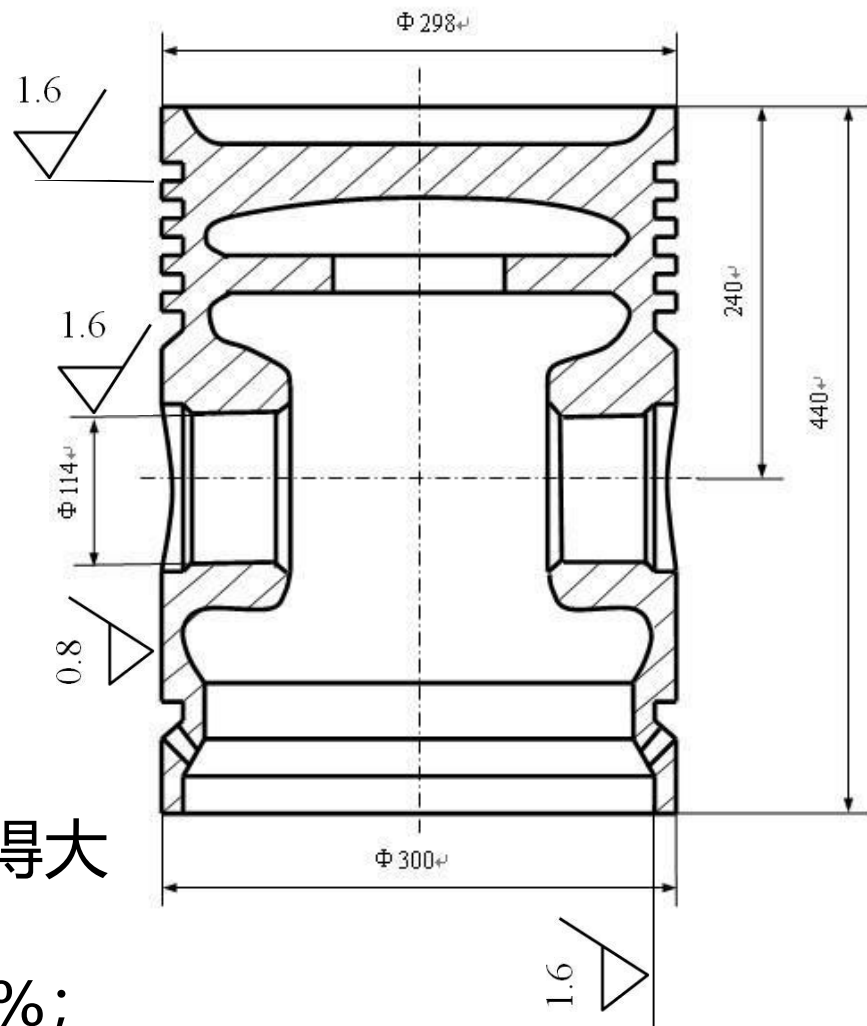
Weight: $\pm 1.5\%$

(5) 表面粗糙度要求

- 活塞裙部外圆;
- 活塞销孔;
- 活塞环槽;
- (组合)活塞配合定位面。

(5) 重量要求

- 高速柴油机活塞重量误差不得大于 $\pm 1.5\%$;
- 中速柴油机活塞不得大于 $\pm 2\%$;
- 低速柴油机活塞不得大于 $\pm 2.5\%$ 。



二、筒形整体活塞机械加工

Machining process of trunk piston

1、定位基面的选择

Selection of positioning references

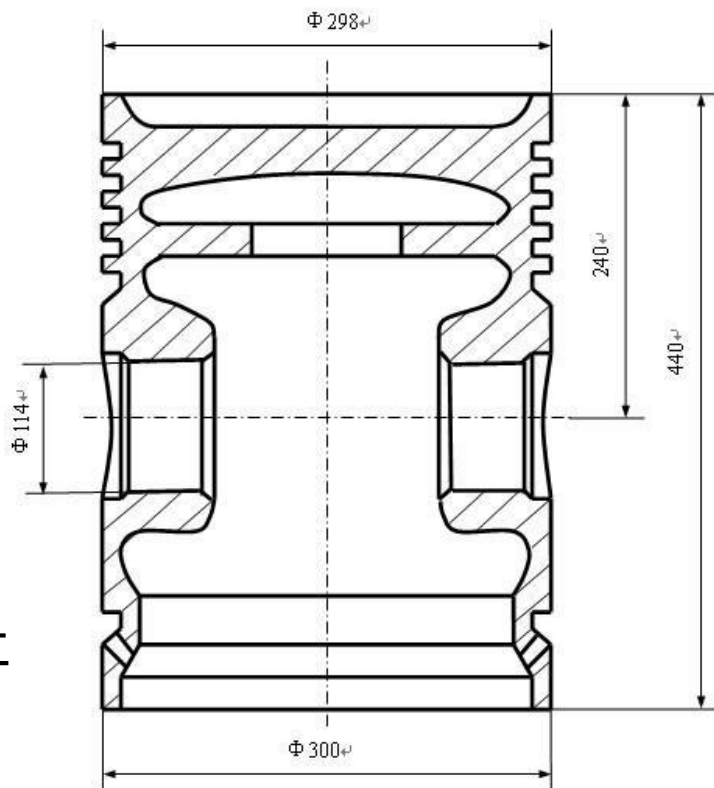
定位基面: {
 下端面和止口
 止口处锥面和顶针孔
 销孔
 活塞顶面

问题: 工程上加工活塞时普遍采用下端面和止口作为定位基准, 请解释原因和优缺点?

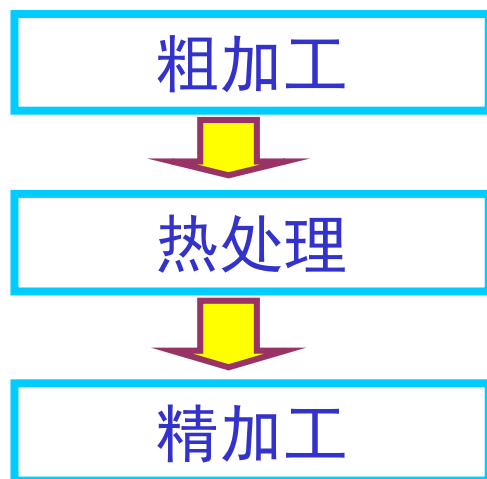
提示: 基准统一。

优点: 一次装夹可加工群部、头部、顶部、环槽和销孔等主要表面, 精度高, 并显著提高生产效率; 采用轴向夹紧, 并可进行多刀切削, 减小夹紧过程中的变形; 可以作修理基准。

缺点: 增加一道该基准的加工工序; 加工环槽和销孔时与设计基准不重合, 位置精度受影响。

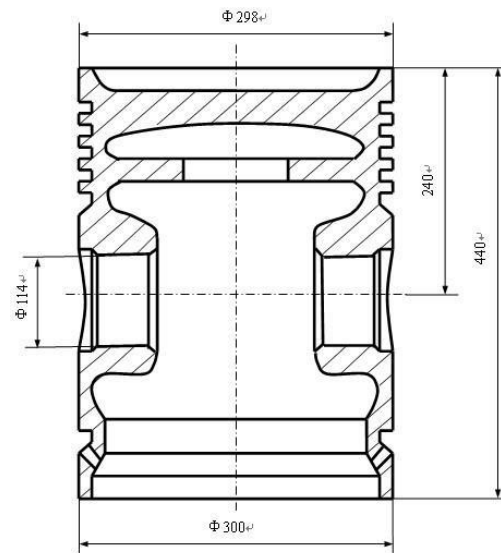


2、活塞加工阶段组成 (The stages of machining)



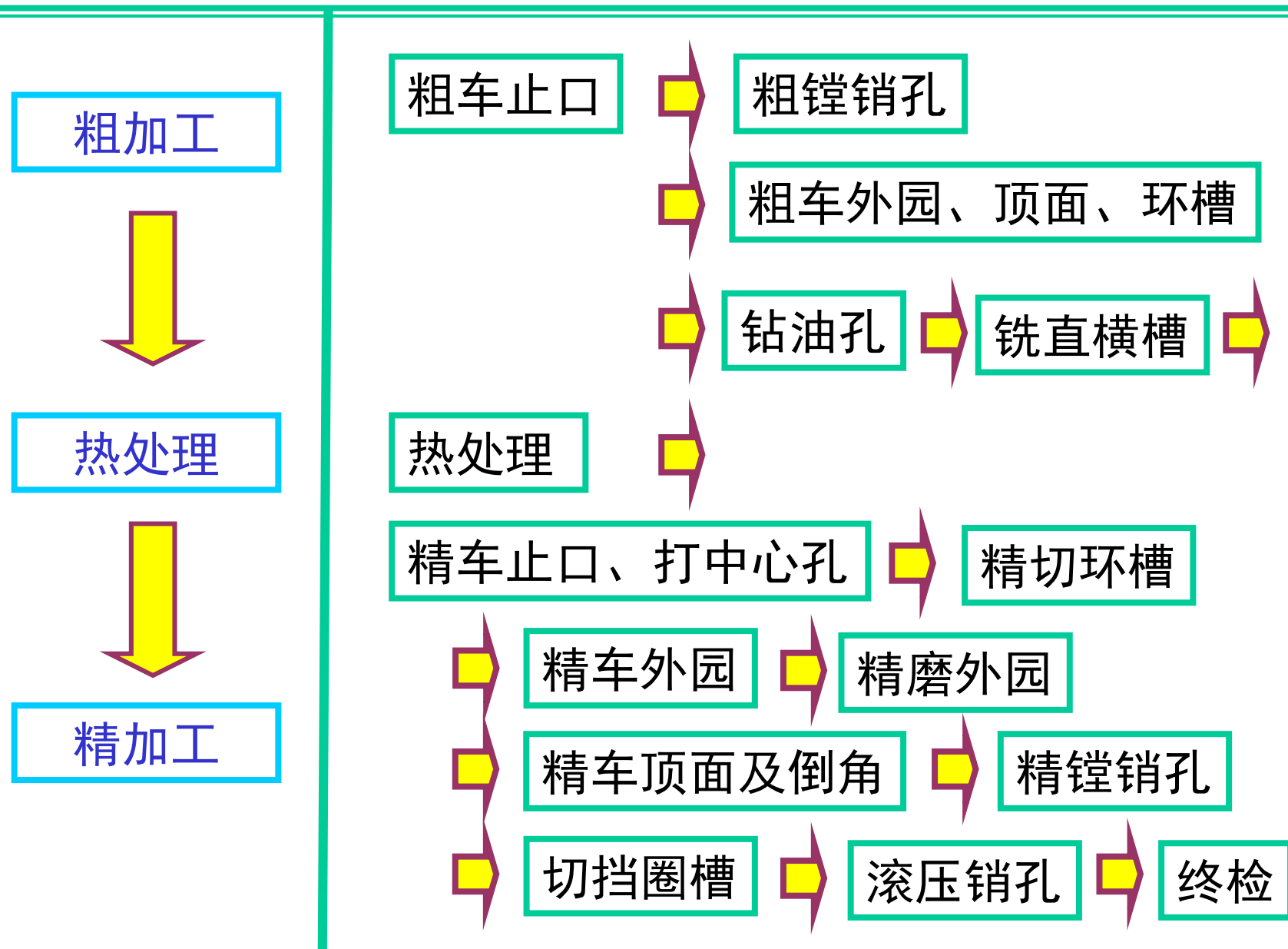
粗车外圆和顶面

精车外圆、环槽，
精镗活塞销孔，
加工顶部和裙部椭圆



注意：具体活塞加工工艺过程的制订，随批量大小、活塞结构类型及要求、毛坯制造方法、各工厂的工艺条件等因素的变化而有所不同。

例如，年产30万只汽车用活塞的工艺

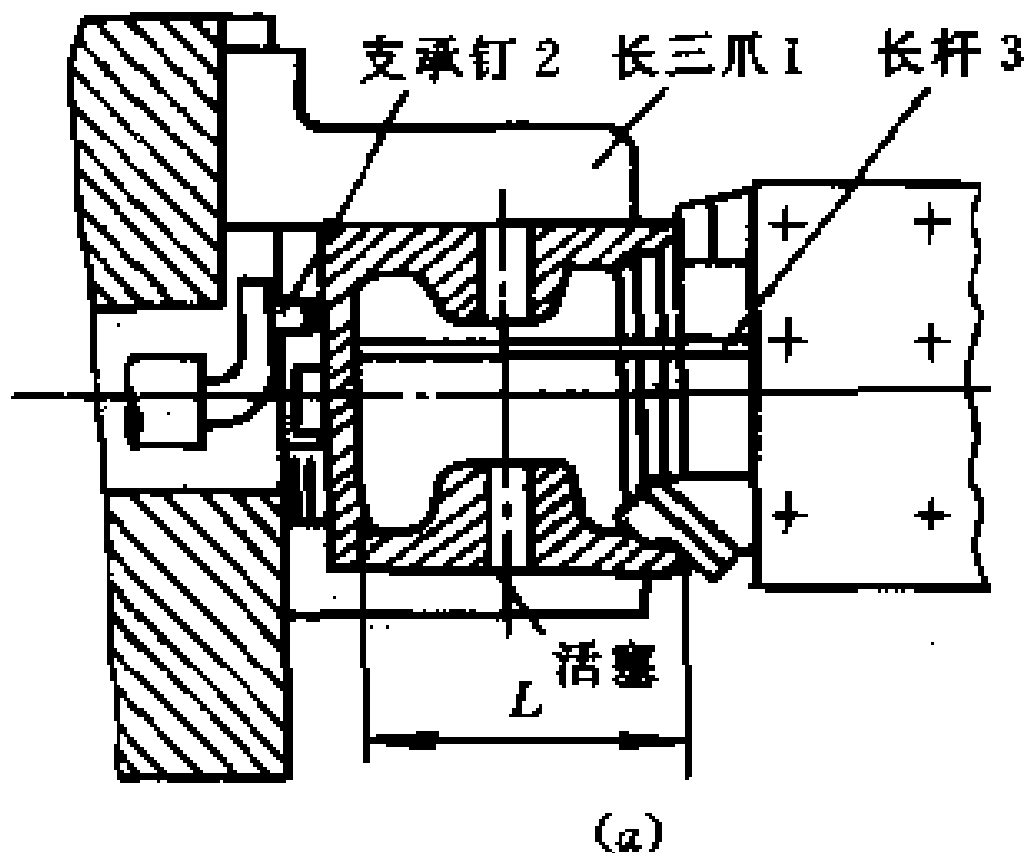


http://www.iqiyi.com/w_19rt6qgkw1.html

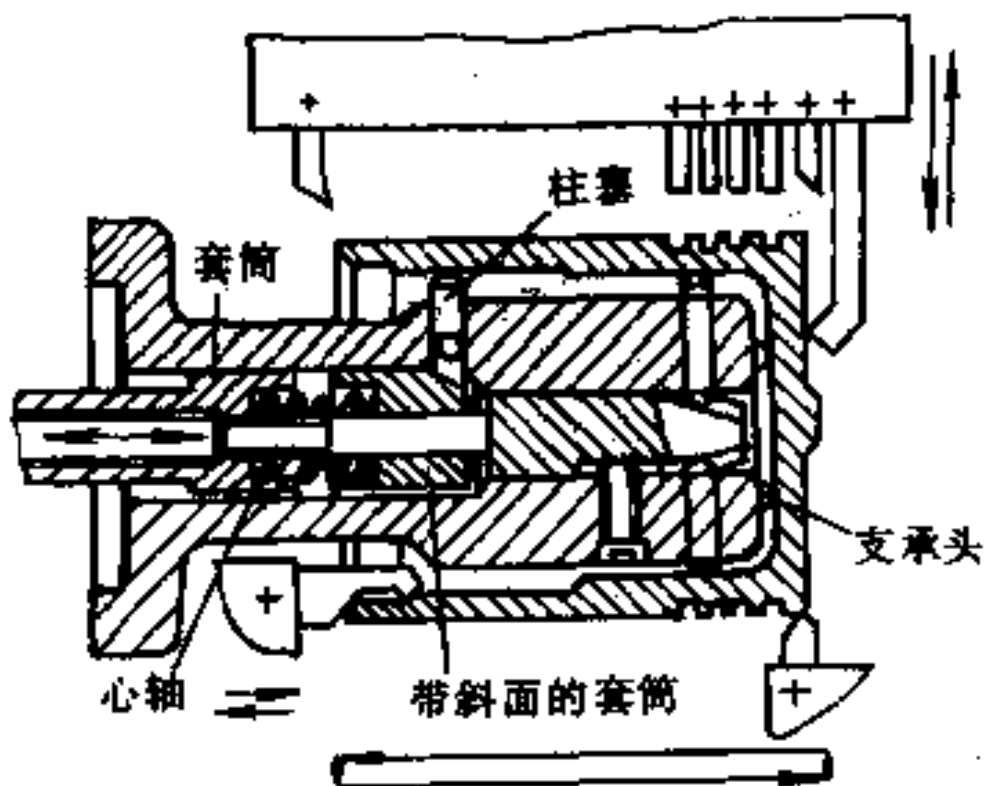
http://www.sohu.com/a/257328791_259945

3、活塞止口的加工

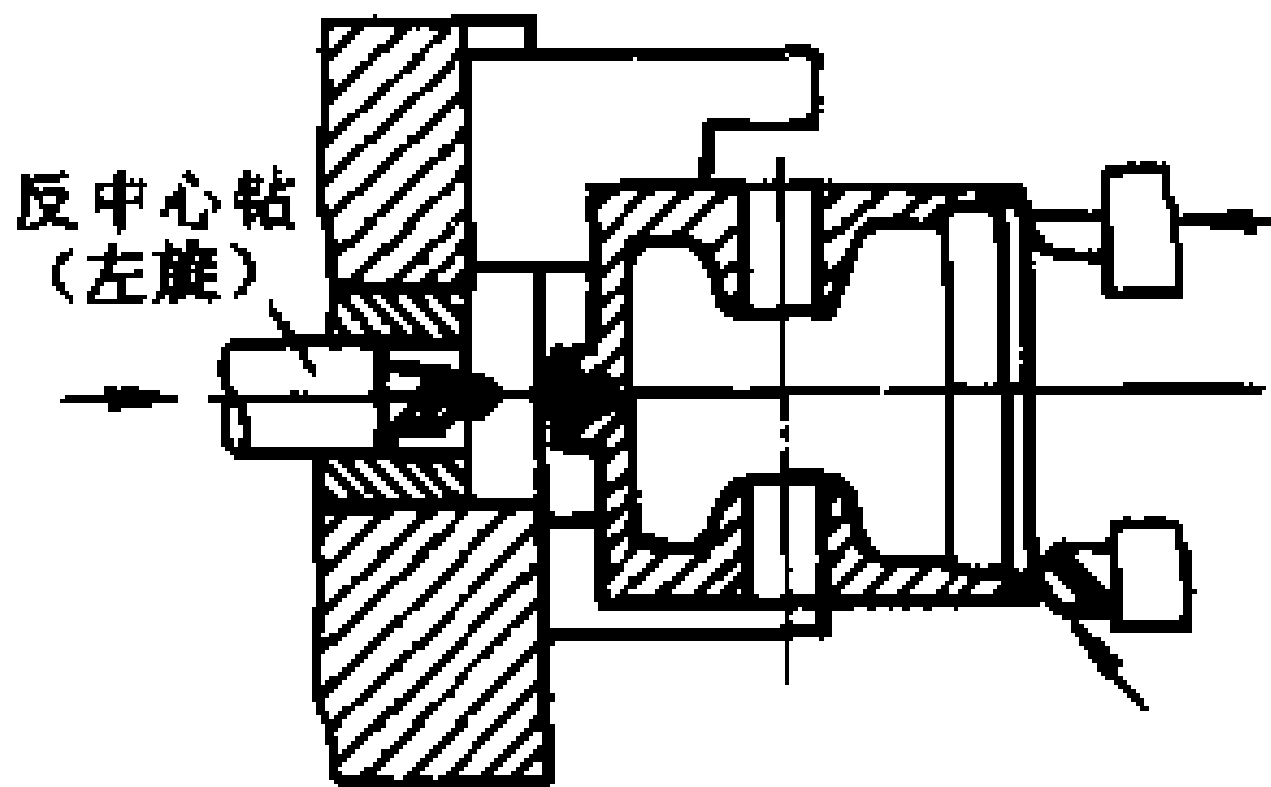
方法之一：长三爪装夹方式（存在壁厚不均匀的问题）



方法之二：内表面定位加工止口（保证活塞有较小的壁厚差，可同时加工外园、顶面、环槽、止口和端面）



精加工之前： 精车止口和打中心孔



4、活塞外圆表面的加工

(1) 粗加工

金属硬模浇铸：内表面作为定位基准

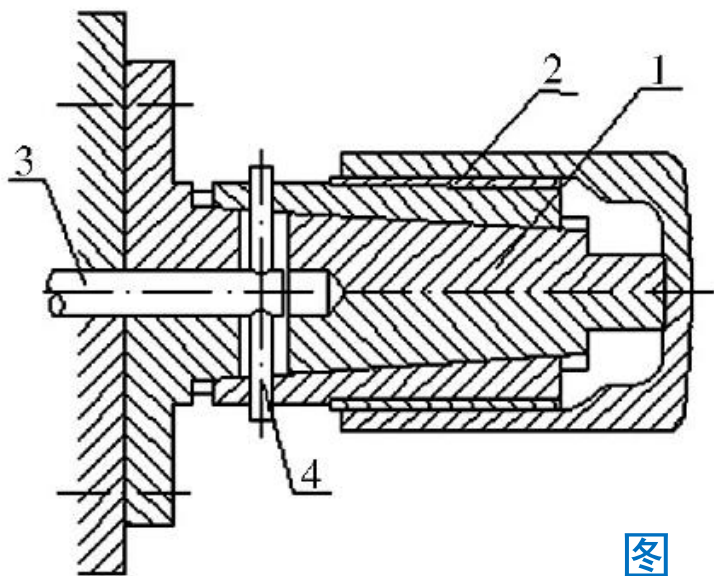


图 粗车活塞外圆表面的撑开式夹具
1—定位器；2—卡爪；3—拉杆；4—销子

中大尺寸活塞：

- 1) 活塞顶部的顶针孔+外圆定位
- 2) 活塞顶部的顶针孔+止口定位

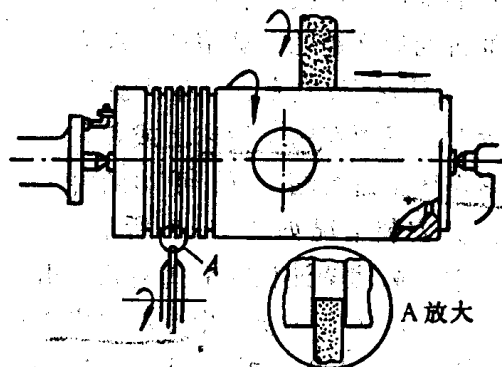
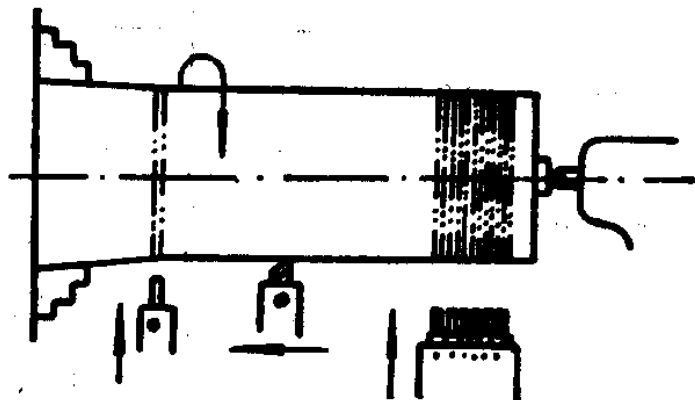


图10-6 磨活塞外圆

图 粗车活塞外圆

小型活塞：可用活塞外圆表面定位，在两次安装中粗车外圆



(2) 精加工

定位基准：止口和活塞下端面（或止口倒角和顶针孔）



应对活塞外圆型面日益复杂的情况，活塞头部和裙部一般可以采用立体靠模车、计算机数控（CNC）车削等方式进行加工

(1) 靠模仿形法：

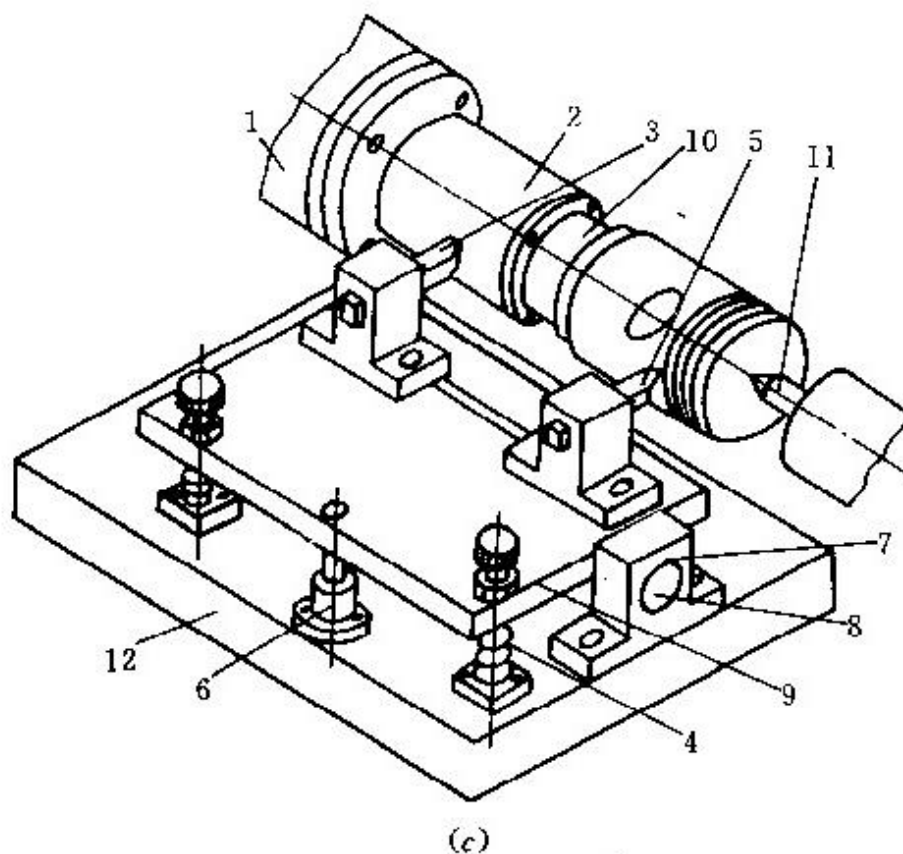


图 仿形机构示意图

(2) 计算机数控 (CNC) 车削:



5、活塞销孔的加工

常用的精镗定位基准

- (1) 以下端面+止口定位+粗镗后的销孔；
- (2) 以头部端面+外圆定位+粗镗后的销孔。

加工阶段：

粗镗→精镗→光整加工。

加工方法：

- 高速机活塞销孔：金刚镗床高速细镗精加工；
- 中低速机活塞销孔：中小批量，精密镗床或精密车床精镗。

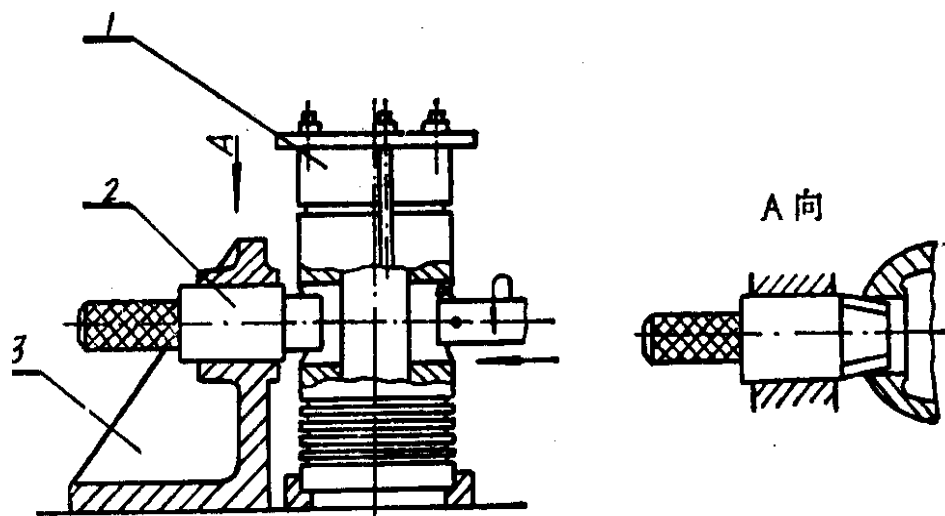


图10-8 在镗床上镗活塞销孔
1-活塞；2-锥形浮动定位销；3-支架

实例：活塞销孔的定位原理

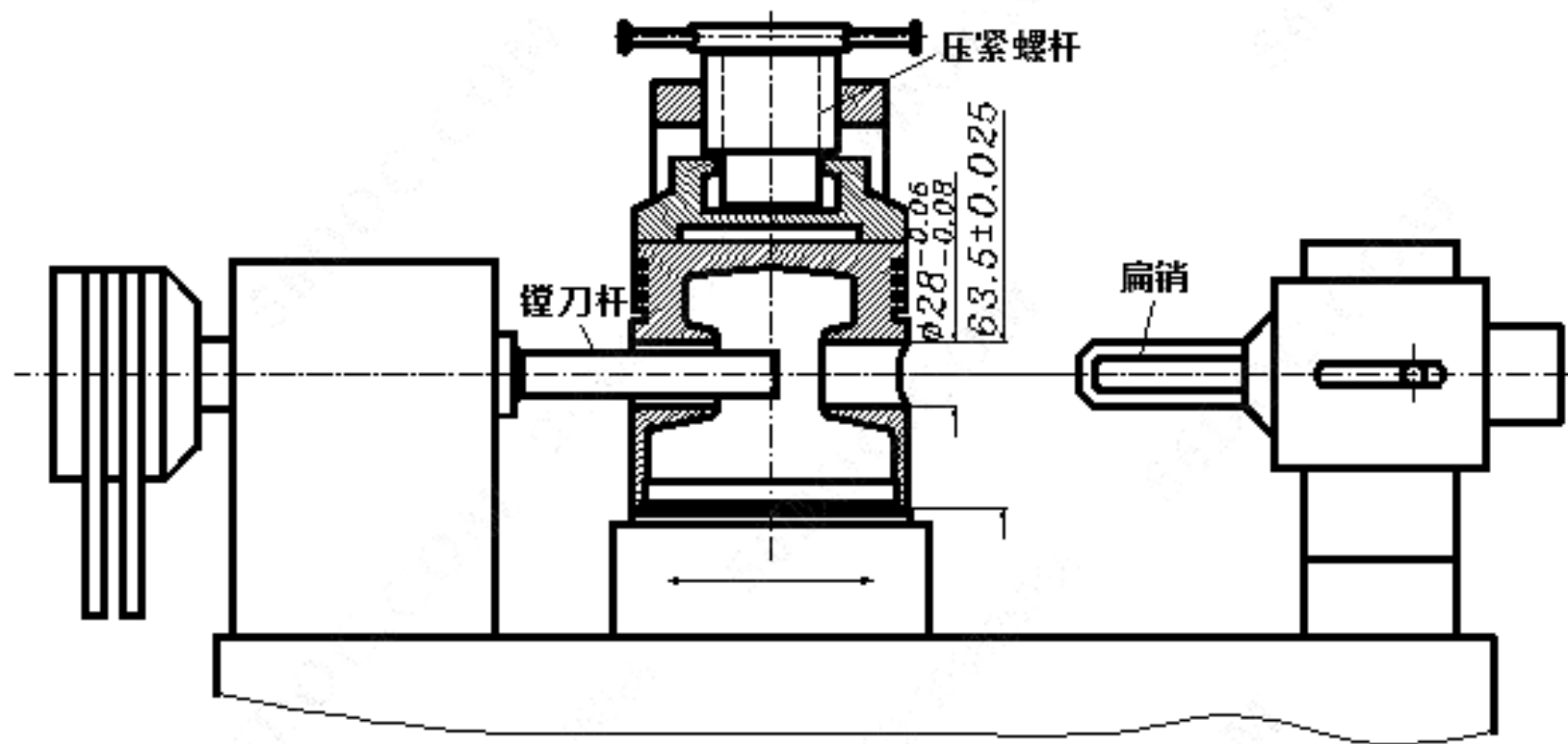
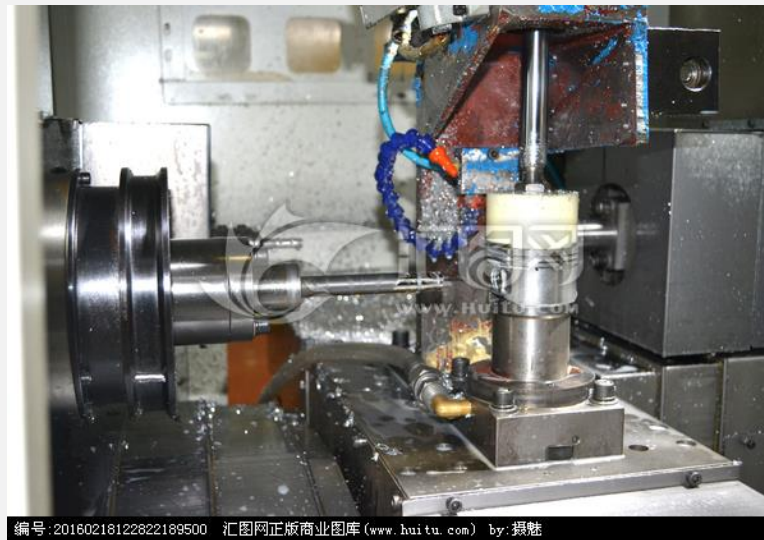


图 6 精镗活塞销孔的加工示意图

实例：活塞销孔的加工



实例：活塞销孔的卧镗方式

卧镗方式： 用V形铁以活塞裙部和粗镗后的销孔为定位基准。

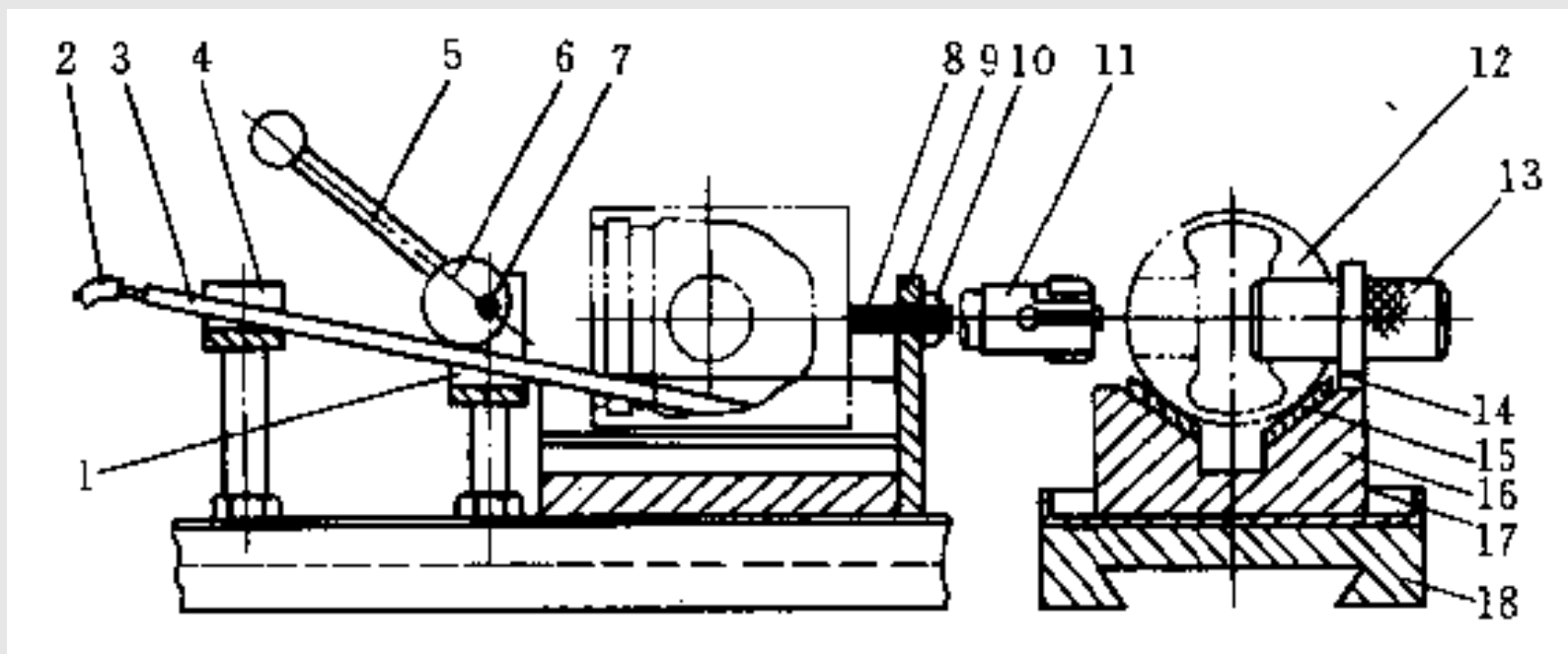
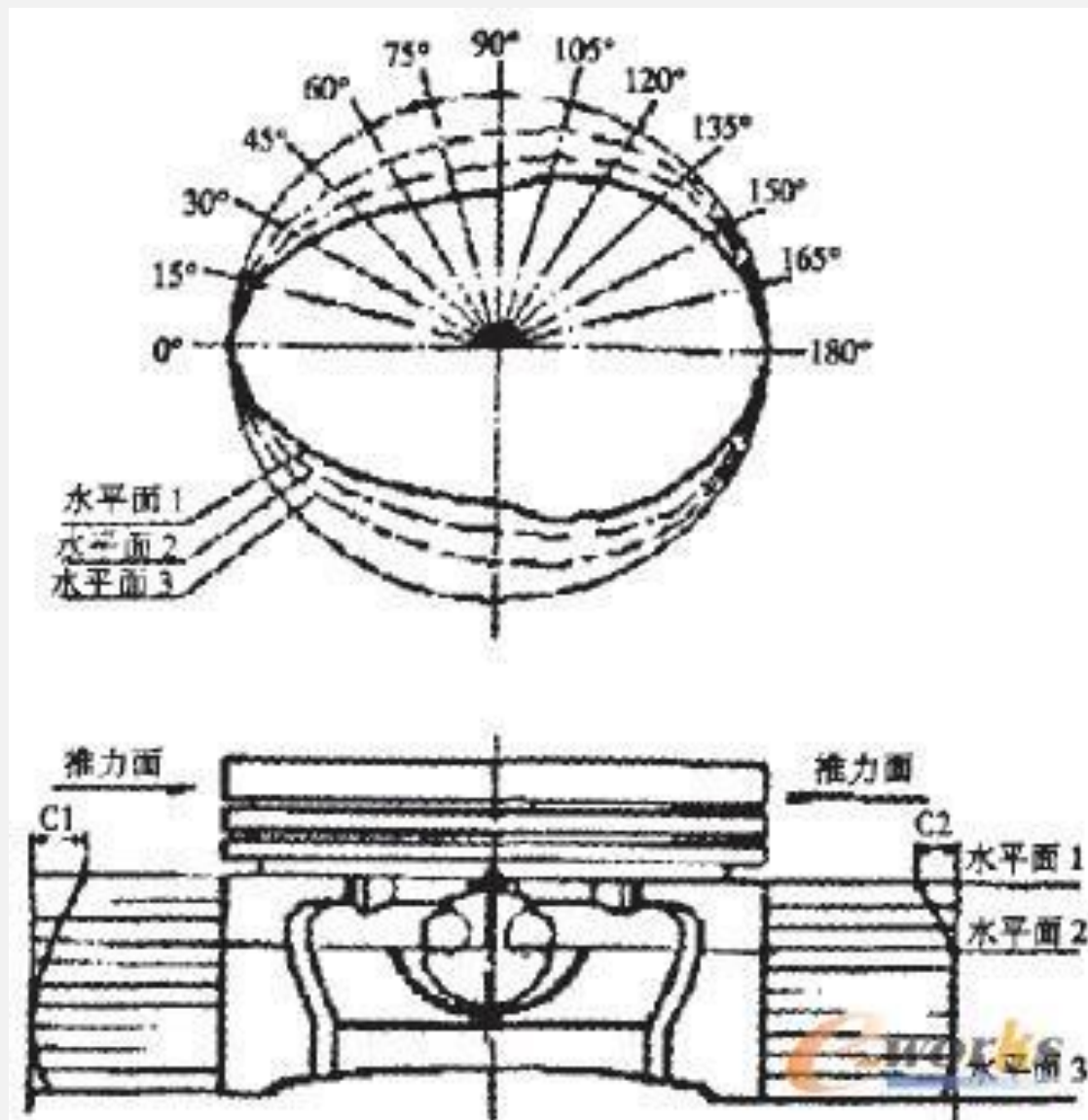


图 卧式镗孔夹具示意图

1—前支架；2—冷却油管；3—压板；4—后支架；5—手柄；6—偏心；
7—销子；8—调整螺钉；9—支撑板；10—螺母；11—镜面镗刀；12—活塞；
13—定位杆；14—调整垫块；15—垫板；16—V型铁；17—油池；18—小拖板。

实例：活塞异形销孔结构



6、活塞燃烧室的加工

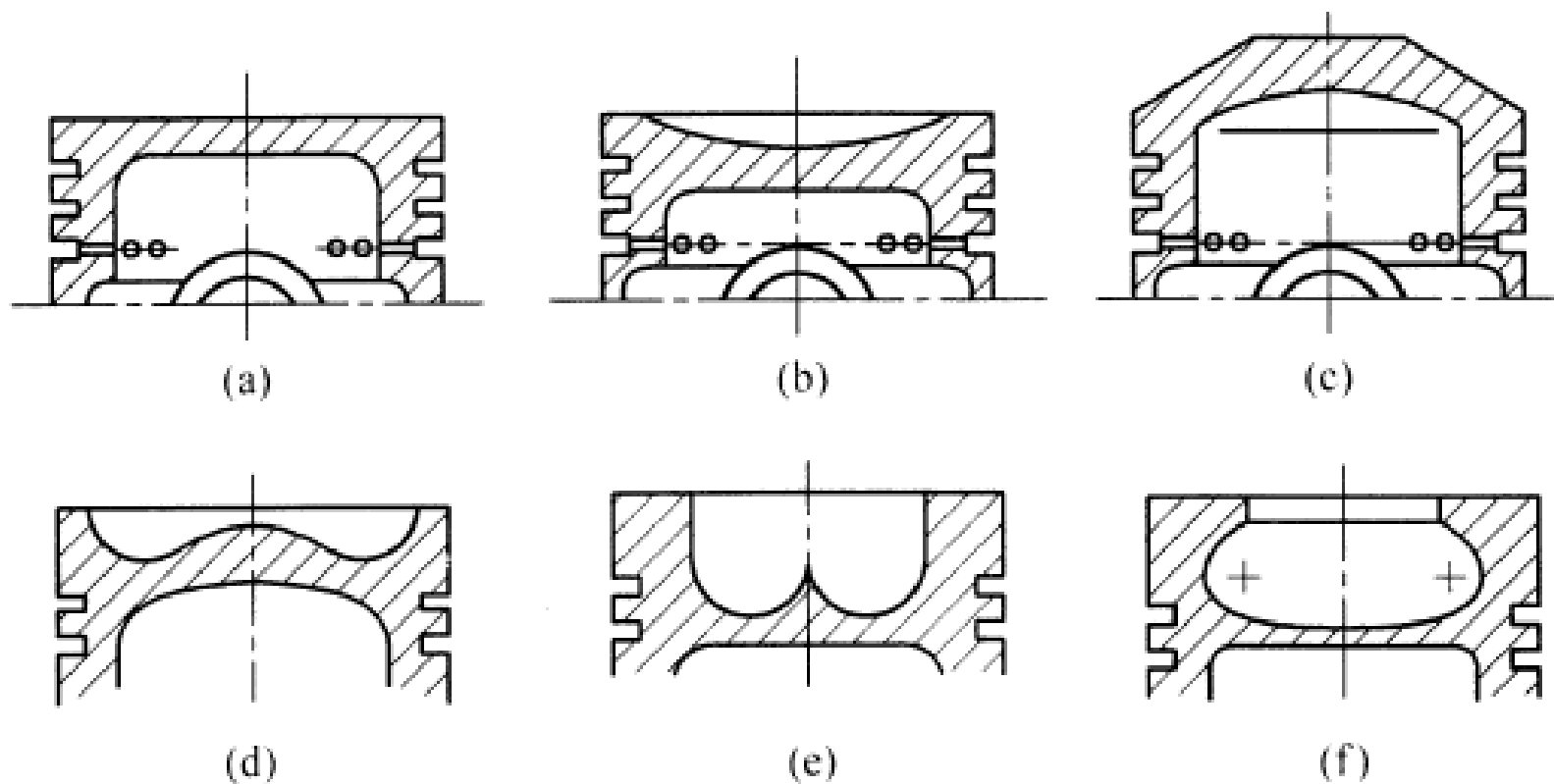


图 2-7 活塞顶部形状示意

(a) 平顶 (b) 凹顶 (c) 凸顶 (d)、(e)、(f) 凹坑



加工方法:

- ①成形车刀加工
- ②靠模加工
- ③数控加工

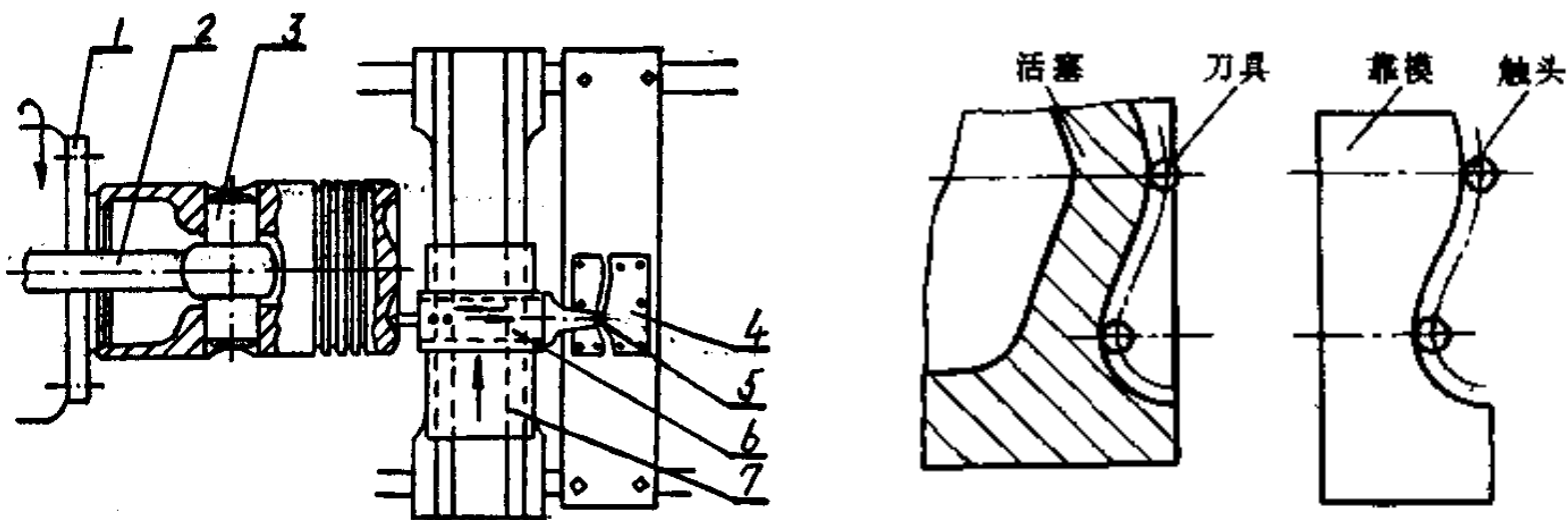
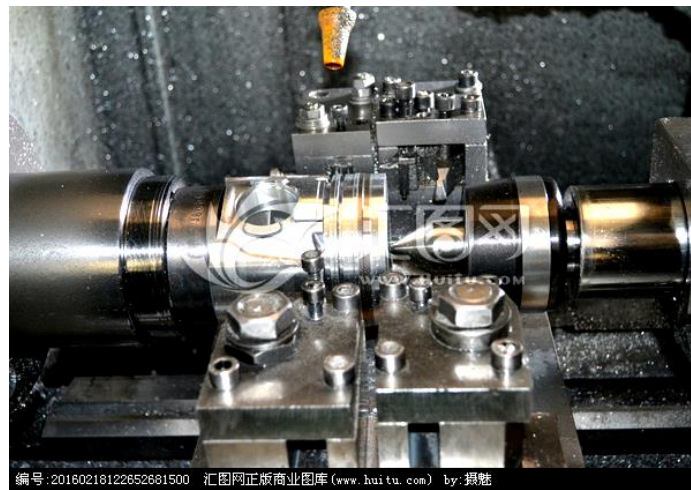


图 活塞燃烧室的车削

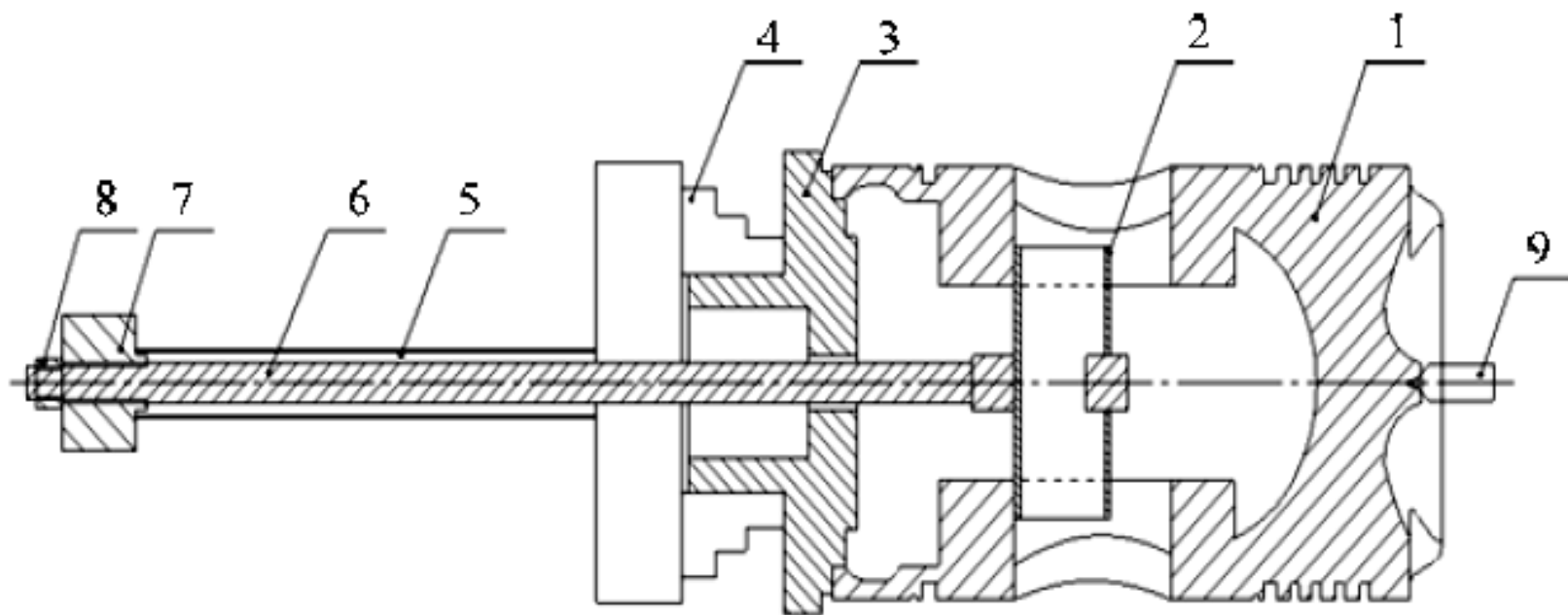
1—定位盘；2—拉杆；3—拉紧销；4—双面靠模
5—触头；6—横向导板；7—纵向导板

7、活塞环槽的加工

- **定位基准：** 止口+活塞下端面（或止口倒角+顶针孔）
- **成组切刀活塞环槽加工：** 环槽宽度决定于切槽刀宽度；槽间距离决定于各切刀间垫片的厚度。
- **活塞环槽刀具的选择：** 合金刀具、金刚石刀具
- **典型活塞环槽加工工艺流程：** 粗加工→半精加工→精加工



定位基准： 止口+活塞下端面（或止口倒角+顶针孔）



1-活塞 2-受力筒 3-止口盘 4-三爪卡盘
5-车床主轴 6-拉杆 7-端盖 8-螺母 9-顶针

图1 活塞环槽加工装夹简图

成组切刀活塞环槽加工：

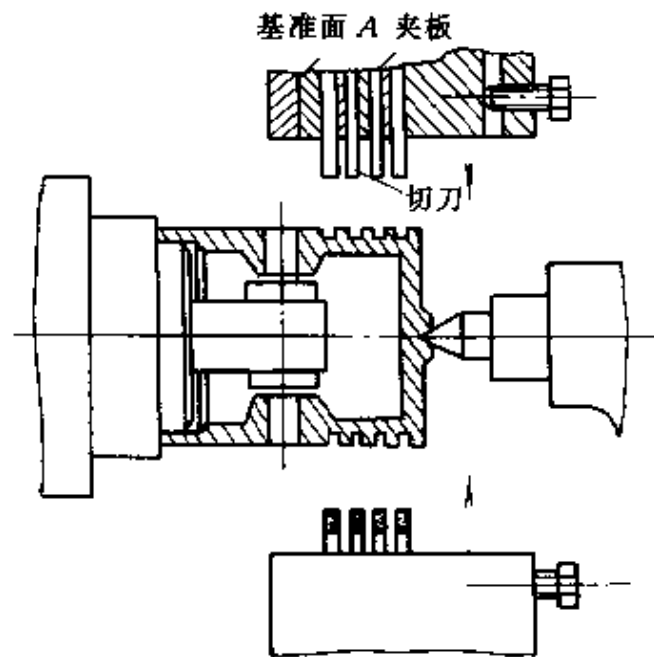
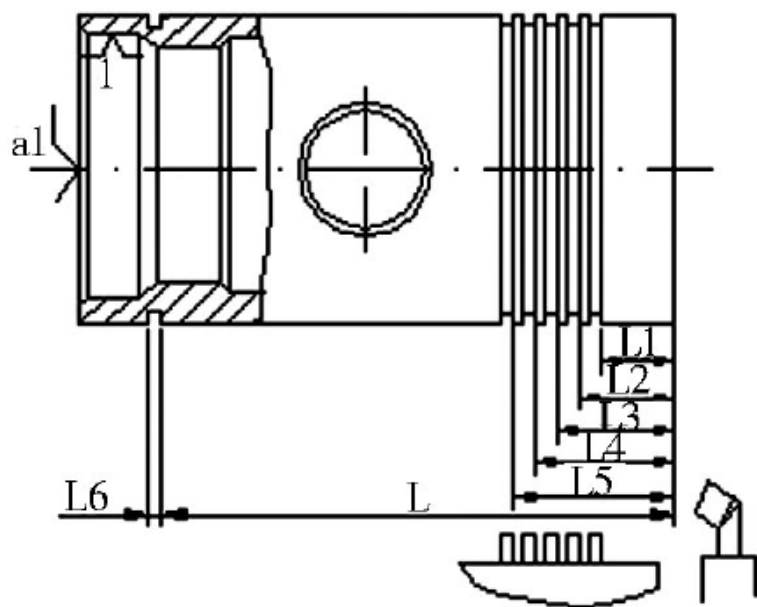
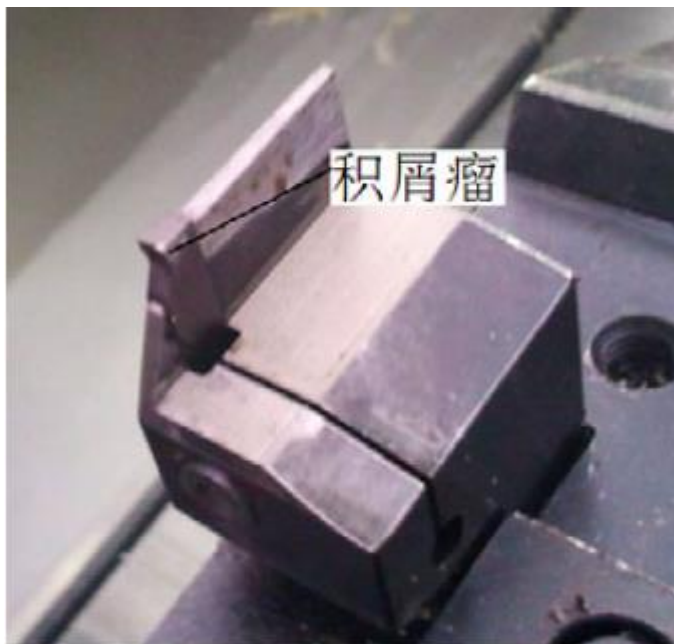


图 成组切刀加工活塞环槽

活塞环槽刀具的选择

环槽精加工过程中，刀具要切出环槽底部以及侧面预留余量，切削层的金属会受到摩擦挤压，使得刀尖切削层受力变形，切削力较大。



合金刀具



金刚石刀具

要注意刀具角度设计，减少磨损率；加强刀具表面的镜面程度，确保精加工中切屑的顺利排出，减少切屑瘤形成。

典型活塞环槽加工工艺过程：

表1 活塞环槽加工工艺过程

序号	工序名称	加工设备	刀具选择	定位与夹紧
1	粗车环槽	普通车床	合金钢刀具	——
2	半精车环槽	数控车床	金刚石数控刀具 (精车刀具磨损后降级使用)	图2夹具 (一次装夹)
3	精车环槽		金刚石数控刀具	

实例：某船用柴油机铝合金活塞环槽的精加工工艺参数

- 主轴转速400 r/min；进给量0.12 mm/r；背吃刀量0.1 mm。
- 加工后：公差满足要求，粗糙度Ra0.7。

表1为300型筒型柴油机活塞在大批量生产时的加工工艺过程，材料为合金铸铁，毛坯用合金硬模浇铸。

工序号	工序主要内容	定位基准	机床、工夹具
1	切断冒口	外圆，底端面	立车
2	粗车外圆及车顶端面	内孔，底端面	多刀半自动车床
3	粗车燃烧室，车工艺搭子平面，打工艺孔	底端面外圆	多刀半自动车床 中心钻
4	车隔板平面、止口及倒角、内孔，粗车底端面	顶端面，外圆	多刀半自动车床
5	粗车销孔，刮销座开档平面	底面、止口、销孔轴	专用卧式镗床 专用镗活塞销孔夹具
6	热处理；退火，硬度为HB180~220		

7	半精车外圆，精车顶端面，粗切环槽	底面、止口、顶针孔	多刀半自动车床
8	半精和精切环槽	止口锥面、顶针孔	多刀半自动车床
9	精车外圆，车环槽倒角及顶部边缘圆弧	同上	多刀半自动车床
10	车顶部圆锥面	同上	C630车床
11	精车销孔，刮销座开档平面	底面、止口、销孔轴	专用卧式镗床 镗销孔夹具

12	钻环槽直油孔及斜油孔，钻销孔处定位孔	底面、外圆、销孔轴	专用多轴钻床
13	钻顶面螺孔及刮螺孔端面，钻隔板螺孔，钻销孔处斜油孔	顶面、隔板底面、内孔、隔板孔	Z35摇臂钻床
14	铣顶部四个缺口	底面、外圆、销孔轴	专用四轴铣床
15	车偏心圆弧	止口锥面、销孔、顶针孔	C630车床 车偏心夹具
16	精磨锥度	止口锥面、顶针孔	MQ1350A外圆磨床

17	精磨外圆至尺寸	止口锥面、顶针孔	MQ1350A外圆磨床
18	车去工艺搭子，精车燃烧室	底面、止口	C630车床 靠模
19	修整圆弧，去毛刺		
20	调整重量	顶面、外圆	立车
21	检验		

三 活塞加工质量的检验

检查项目

(1) 外径、裙部轮廓与椭圆度（千分尺/表测量、万能测长仪、中凸曲线测量仪）；

(2) 环槽底径与宽度（极限塞规、环槽测量仪、斜槽或梯形槽滚针测量）；

(3) 顶岸高度；

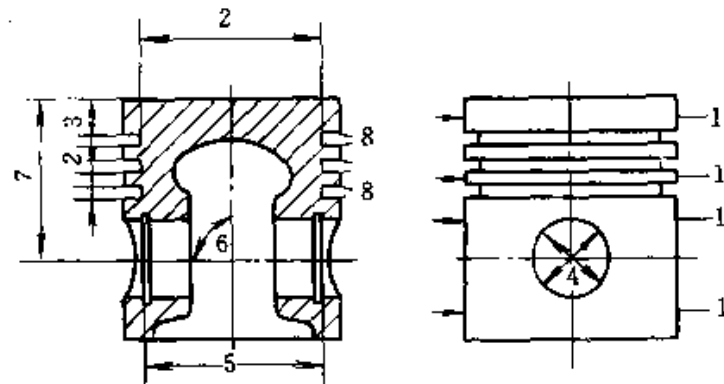
(4) 销孔直径；

(5) 挡圈槽间距；

(6) 销孔轴线对裙部轴线的垂直度；

(7) 压缩高；

(8) 环岸边缘是否损坏。



其他检查项目有：(1)燃烧室与气门坑的位置及其深度；(2)重量等。

与活塞销孔有关的检验项目

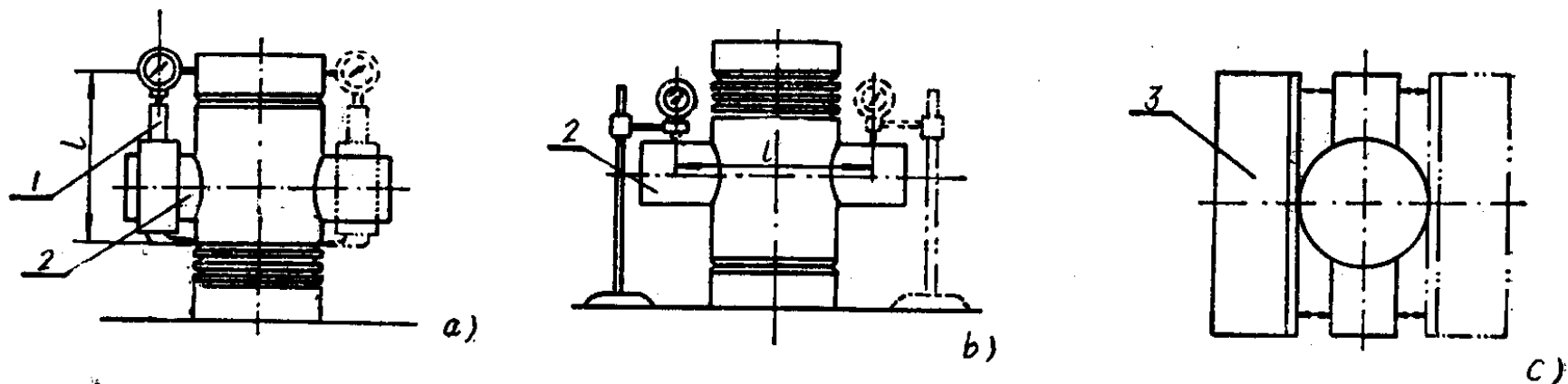
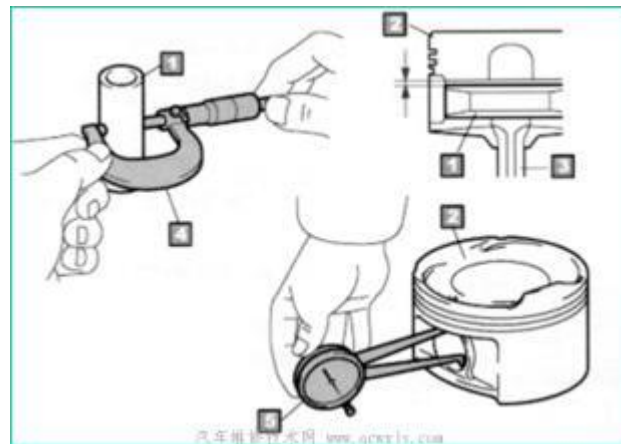


图10-9 活塞各表面相互位置的检验
1-定位器；2-检验样轴；3-检验角铁



活塞销孔垂直度检具



与活塞外圆有关的检验项目

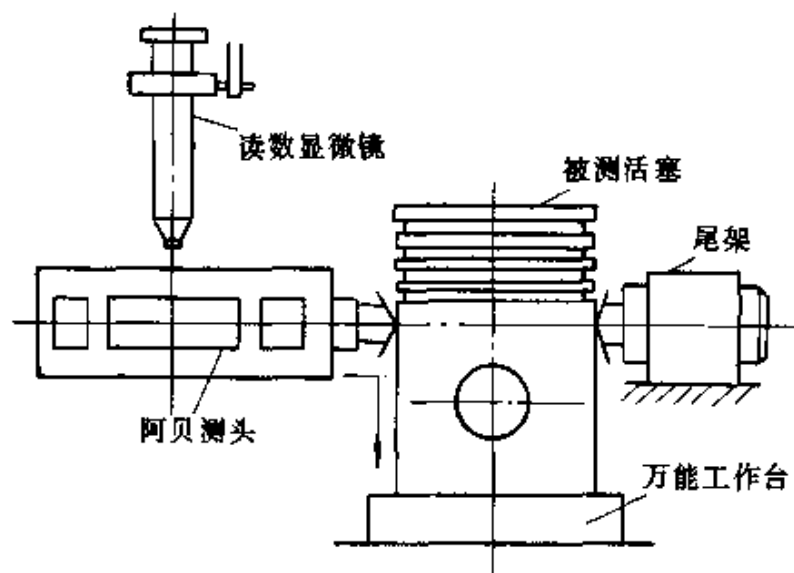


图 万能测长仪示意图

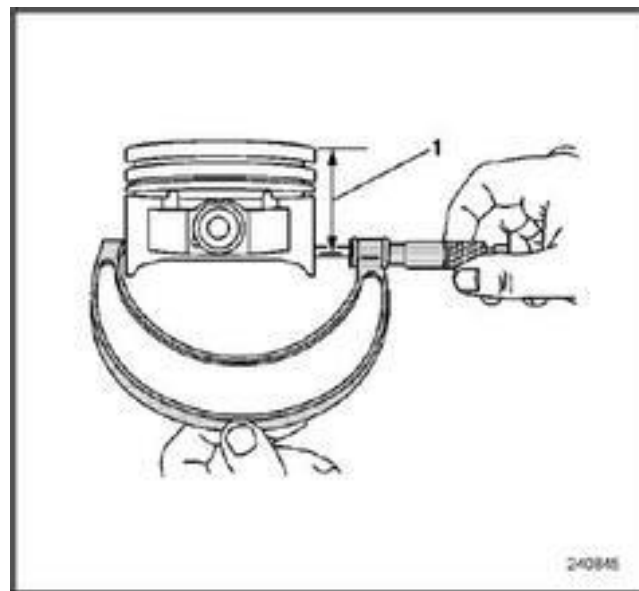


图 2-5 测量活塞外径

与活塞外圆与活塞销孔位置的检验项目

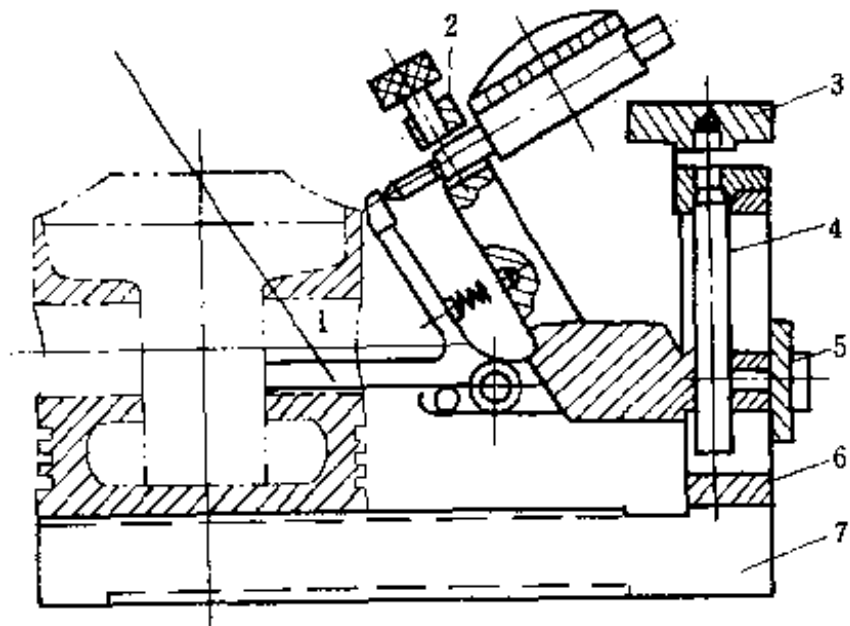


图 活塞压缩高检具

1—测杆；2—固表体；3—手柄；4—丝杆；5—螺钉；6—调节架；7—底座

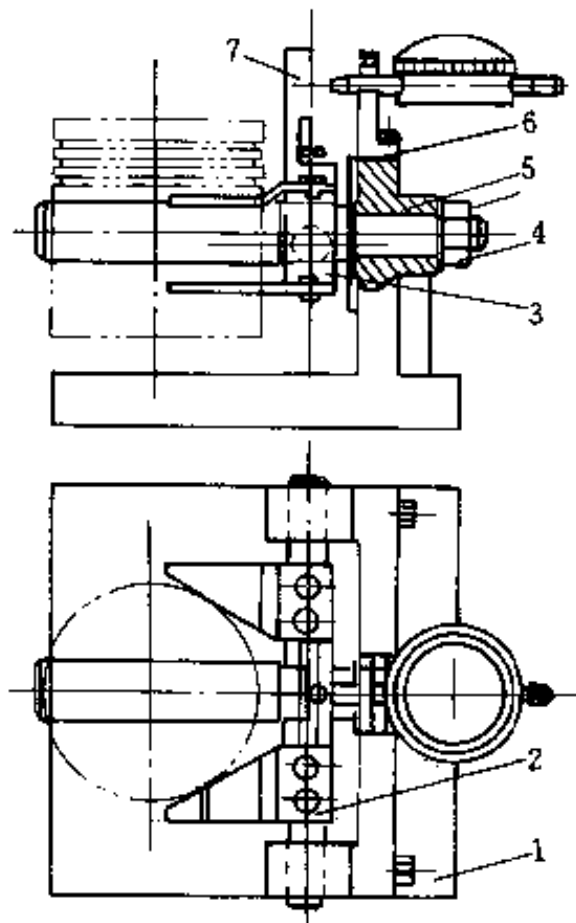
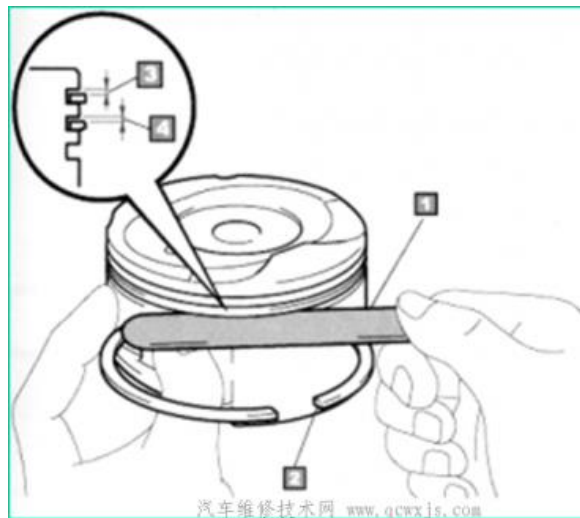


图 销孔轴线对裙部轴线垂直度检具

1—底座；2—测爪；3—转动体；4—螺母；5—销轴；6—固表体；7—测量块

活塞环槽的检验项目



活塞环槽综合量仪(旁向式电感测头)

Thank you!

进入下一章节