

# 一种高压油泵壳体加工工艺的研究

徐佳亮

江苏远方动力科技有限公司 江苏常州 213000

**摘要:**介绍了高压油泵壳体的加工工艺,对加工设备、精度控制、加工程序进行重点研究,通过对这些关键点的控制,解决了产品壁薄、结构复杂以及精度要求高的加工难点,总结出了一套合适的加工方案,产品质量得到了有效保证,达到了设计要求。

**关键词:** 高压油泵壳体; 加工工艺; 薄壁; 精度控制; 去应力退火; 坐标系关联

## 引言

高压油泵是柴油机高压共轨系统的“心脏”,是一种柱塞式油泵,通过凸轮原理,使柱塞在壳体缸内作往复运动,将燃油加压,经高压油管、高压油轨、喷油器等零件,雾状喷入柴油机燃烧室后产生燃烧爆炸,最后通过活塞连杆、曲轴等机构转换为旋转动力。壳体是油泵的“骨架”,它支撑凸轮轴旋转以及柱塞在其缸内往复运动,因此对其材料性能、尺寸精度都有着非常高的要求。

## 1. 工艺方案分析

### 1.1 加工难点分析

高压油泵壳体设计如图1所示,材料是QT600-3,是一种珠光体型球墨铸铁,具有良好的耐磨性和减震性,它还具有耐高温,不易变形,能长期保持稳定的性能。其抗拉强度达到600MPa,伸长率达到3%,铸件的硬度达到190~270HB。因含有球形石墨在切削中易造成前刀面切削摩擦,属于难加工材料<sup>[1]</sup>,这就要求切削刀具不仅要有高硬度和耐磨性,还要有韧性。



图1 壳体设计三维图

该壳体壁厚厚度在8~10mm之间,最薄的地方只有3mm,属于薄壁件,非常容易变形。而且壳体的精度要求非常高,特别是两个缸与轴承孔的形位尺寸要求。

### 1.2 工艺流程

机械制造加工过程,应对零件加工标准要求进行全面明确,同时基于加工流程的合理规划,全面考量机械加工过程零件精度的影响因素,进而把预防及优化改进工作做好,确保加工环节的误差得以有效减少<sup>[2]</sup>。根据“先基准后其它”,“先粗后精”,“先主后次”,“先面后孔”的加工原则,再结合考虑采用高效率设备使工序集中提高其生产效率,以及避免应力释放而引起变形等因素,将壳体的加工过程进行工步划分如下:

①铸造→②打磨→③粗抛丸→④去应力退火→⑤粗抛丸→⑥精抛丸→⑦粗铣→⑧时效→⑨半精铣→⑩精铣→⑪精磨平面→⑫精整→⑬气密性试验→⑭超声波清洗→⑮检验

## 2. 尺寸精度的控制要点

### 2.1 壳体关键尺寸精度要求

如图4所示,顶面平面度要求0.02mm以内,与两个缸的内孔跳动要求0.1mm以内,到凸轮轴孔中心距公差是 $\pm 0.01\text{mm}$ 。

I缸与II缸孔的直径公差带是H8和H7,同心度要求0.02mm以内,与凸轮轴孔的垂直度要求0.02mm以内,对称度要求0.08mm以内。如图4所示,两个缸之间的中心距公差 $\pm 0.02\text{mm}$ ,I缸中心距离左侧面距离公差 $\pm 0.02\text{mm}$ 。

左、右两个侧面与凸轮轴孔跳动要求0.02mm以内,长度公差 $\pm 0.1\text{mm}$ 。

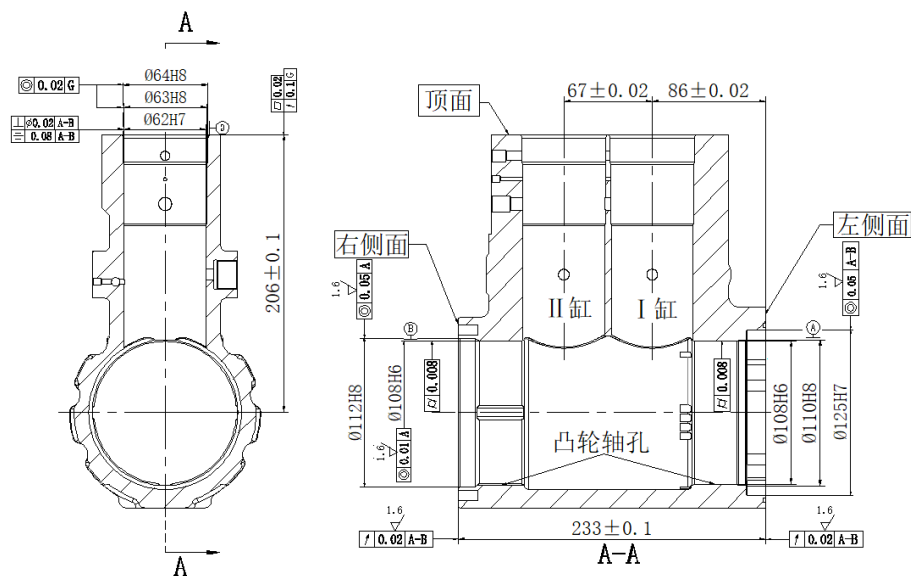


图 2 壳体关键尺寸示意图

凸轮轴孔直径公差 H6, 圆柱度要求 0.008mm 以内, 同心度要求 0.01mm 以内。

### 2.2 设备精度校准

产品的加工精度主要有尺寸精度、形状精度和位置精度, 而设备的定位精度、重复定位精度和几何精度直接关系到产品的精度。该产品的尺寸精度、形状精度和位置精度要求都非常高, 要满足该产品的技术要求, 必须要对设备进行精度校准:

(1) 对定位精度及重复定位精度进行校准, 定位精度和重复定位精度因控制在  $\pm 0.005\text{mm}$  以内;

(2) 对 X、Y、Z 三轴的直线度进行校准, 三轴直线度在 300mm 的测量长度上误差应小于 0.005mm;

(3) 对 X、Y、Z 三轴几何垂直精度进行校准。X 轴轴线运动与 Y 轴轴线运动间的垂直度、Y 轴轴线运动与 Z 轴轴线运动间的垂直度和 Z 轴轴线运动与 X 轴轴线运动间的垂直度每 300mm 长误差控制在 0.006mm 以内。

(4) 对 X 轴、Z 轴与工作台面的平行精度进行校准。X 轴与工作台面的平行度和 Z 轴与工作台面的平行度每 300mm 长误差控制在 0.007mm 以内。

(5) 对主轴跳动及主轴母线的平行度进行校准。主轴近端跳动误差控制在 0.005mm 以内, 远端跳动控制在 0.012mm 以内, 端面跳动控制在 0.003mm 以内, 主轴下母线、侧母线与 Z 轴轴向移动的平行度每 300mm 长误差控制

在 0.012mm 以内。

### 2.3 工艺过程中的关键工步控制

加工工艺过程是由一个或若干个依次排列的工序所组成, 而工序则是由一个或若干个工步组成, 在同一工序中加工不同特征的步骤叫作工步。为提高加工精度, 工步往往采用不同参数和不同的方式, 对不同的表面进行加工。在加工壳体的过程中要特别控制以下几点:

(1) 消除产品的内在应力, 防止在后期因应力释放产生变形导致产品精度下降。首先将壳体铸件作低应力退火, 以  $60^\circ\text{C}/\text{h}$  的升温速度升到  $560\sim 600^\circ\text{C}$ , 保温 4h, 然后以  $60^\circ\text{C}/\text{h}$  降温至  $260^\circ\text{C}$ , 最后打开炉门进行空冷, 消除铸件在浇注过程中因凝固顺序、冷速差异和相变体积变化等原因产生的内部应力。待产品粗加工后作人工时效, 以  $60^\circ\text{C}/\text{h}$  的升温速度升温至  $350^\circ\text{C}$ , 保温 4h, 然后随炉冷却至  $200^\circ\text{C}$ , 最后打开炉门进行空冷, 消除产品抛丸、粗加工的切削力和装夹夹紧力产生的附加内应力。

(2) 为保证凸轮轴孔与 A 基准同心度 0.01mm 以及右侧  $\Phi 112$  孔与 A 基准同心度 0.05mm, 需一次装夹通镗, 不能调头加工。先加工左侧平面, 然后精镗  $\Phi 125$  孔、 $\Phi 110$  孔、 $\Phi 108$  孔, 最后背镗  $\Phi 112$  孔, 所有孔在一个方向加工完成。

(3) I 缸、II 缸与顶面一次装夹完成加工, 从而保证同心度以及面相对于孔的跳动。

(4) I 缸、II 缸与凸轮轴孔需一次装夹完成加工, 从

而保证  $\Phi 62$  孔与凸轮轴孔的垂直度和对称度。

(5) 控制 I 缸中心与左侧面的距离  $86 \pm 0.02\text{mm}$ ，用一个刀具长度补偿值，坐标系关联控制尺寸，减少对刀误差和多个坐标系之间的累积误差。

(6) 左侧面与基准孔在同一方向加工完成确保跳动  $0.02\text{mm}$ 。右侧面需掉头加工，待加工完成后，以左侧面为基准，对右侧面再进行平面磨削加工，从而确保右侧面与凸轮轴孔的跳动在  $0.02\text{mm}$  以内。

(7) 镗孔刀柄的锥柄以及卧式加工中心主轴锥孔需清洁干净，检查气压，防止锁刀不紧，导致内孔失圆。

#### 2.4 坐标系关联控制对刀精度

卧式加工中心通过工作台 B 轴的旋转，一次装夹可以加工多个不同角度的面。为控制 I 缸中心与左侧面中心距  $86 \pm 0.02\text{mm}$  的技术要求，需采用一个刀具长度补偿值以及坐标系之间关联的方法进行尺寸控制，方法如下：

(1) 如图 6 回转原点与 Z 轴参考点距离的测量示意图所示，在工作台上安装一试验块，将机床 B 轴回零，如图 6 (a) 所示，将基准面铣刀移到到机械坐标系 a 点（机械坐标系 Z 轴读数为  $L_1$ ），移动 X 轴将端面铣出，Z 轴固定不动。如图 6 (b) 所示，B 轴旋转  $180^\circ$  后，将另一条边铣出。如图 6 (c) 所示，用千分尺测量出总长度  $L$ ，因此，可得出：B 轴回转中心原点与机械参考点 Z 值的偏置距离即  $Z_{\text{回}}$ ， $Z_{\text{回}} = L_1 - L \div 2$ 。

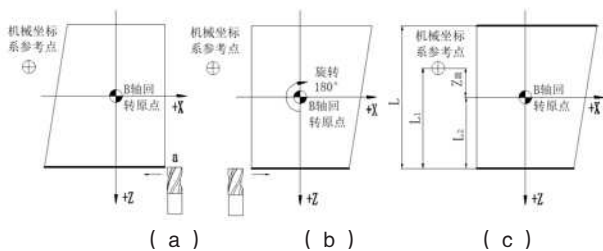


图 6 回转原点与 Z 轴参考点距离的测量示意图

(2) 工作台旋转  $90^\circ$ ，如图 7 (a) 所示，用寻边器分别寻出  $L_4$  和  $L_5$  的数值，通过计算得出 B 轴回转中心原点与机械参考点 X 值的偏置距离即  $X_{\text{回}}$ 。

$$X_{\text{回}} = L_5 + L_3 = L_5 + (L_4 - L_5) \div 2。$$

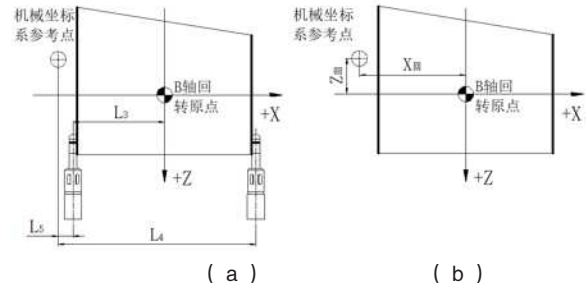


图 7 回转原点与 X 轴参考点距离的测量示意图

(3) 坐标系关联，先加工 I、II 缸的平面及内孔，以 I 缸内孔圆心为 X、Y 轴的零点基准和凸轮轴孔轴线为 Z 轴零点基准建立基准工件坐标系 G54。用基准刀对刀工件平面，读出机械坐标值的 Z 轴数值，再用该数值减去精铣余量  $0.5\text{mm}$  就等于工件坐标系 G54 的 Z 值，将此数值输入到 G54 到 Z 轴坐标系。工件 I、II 缸加工完成后，B 轴旋转  $90^\circ$  加工凸轮轴孔。建立新的坐标系 G55，通过以上公式将 G54 和 G55 进行关联从而减少找正的误差。计算关联如下：

$$\text{G55 坐标系的 X 值: } X = X_{\text{回}} + Z_{\text{回}} - G54Z$$

$$\text{G55 坐标系的 Z 值: } Z = Z_{\text{回}} - X_{\text{回}} + G54X$$

G55 坐标系的 Y 值和 G54Y 值一样。

加工凸轮轴孔的坐标系 G55 通过与加工 I、II 缸内孔坐标系 G54 的几何关系计算出来，之间不存在找正误差，有效地提高了产品的加工精度。

### 3. 结论

高压油泵壳体的加工充分考虑了设备精度、应力释放、装夹方式、切削顺序、加工程序等影响产品质量的各个方面。通过中试验证，所有加工尺寸精度都达到了产品的设计要求，达到了批量生产的条件。

#### 参考文献

- [1] 晏岱, 崔明稳, 江吉彬等. 球墨铸铁高速铣削加工工艺参数优化实验研究 [J]. 福建工程学院学报, 2018, 16 (06): 520-525.
- [2] 郭敏. 机械加工精度的影响因素及提高方法 [J]. 中国金属通报, 2020 (11): 92-93.

徐佳亮 (1986- )，男，工程师，学历，毕业于哈尔滨工业大学华德学院机械设计制造及自动化专业，长期从事机械装备设计研究。