

某型发射装置垂直油缸车削加工工装设计

撰文 / 中国空空导弹研究院 张志超 胡海涛 关洪强 王宇辉

垂直油缸是某型号发射装置中的重要零件，是将机构水平运动转换为垂直运动的液压承载部件，同时还是挂装导弹的主要承力零件。该零件外形不规则，主要构成为两相互垂直的回转体特征，且两处 $\Phi 12$ 挂装孔，与水平、竖直两机构连接端口具有较高的形位公差要求，加工水平 A 基准孔时，可采用一面两孔定位方式进行加工，但在后续加工时，由于 B 基准相对于 A 基准及两安装孔均有较为严格的垂直度对称度等要求，为了便于在车床上进行该零件的加工，本文对垂直油缸进行简要加工工艺分析，主要针对加工竖直 B 基准孔，分析定位、夹紧方式，并计算工装定位精度误差，设计出合理的花盘式车床夹具来保证加工精度、提高生产效率。

一、引言

垂直油缸通过两个轴与发射装置壳体连接一侧布置水平油缸，底部固定导弹悬挂释放组件。如图 1 所示，该零件为不规则缸体结构，加工难点在于保证水平、竖直两基准孔以及安装孔的尺寸公差与形位公差。

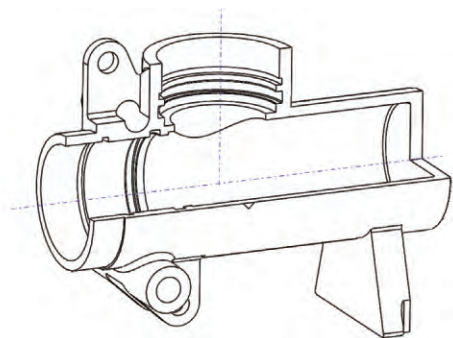


图 1 垂直油缸三维剖视图

本文所分析的垂直油缸，其两处基准孔的直径公差带均为 0.02mm ，为 IT6 级高精密孔，一般情况下采用镗孔加工工艺来保证零件的尺寸公差和形位公差，由于两基准孔端部均存在配合内螺纹，且有密封槽结构，因此这种回转体特征采用车床加工更容易保证基准孔的形状公差和螺纹精度。

二、零件加工工艺分析

1. 零件结构特点

结构工艺性是指产品零件的结构是否满足优质、高产和低成本制造的一种性质。零件的结构工艺性的优劣不是一成不变的，要依据零件的结构要求和生产条件来进行具体分析。

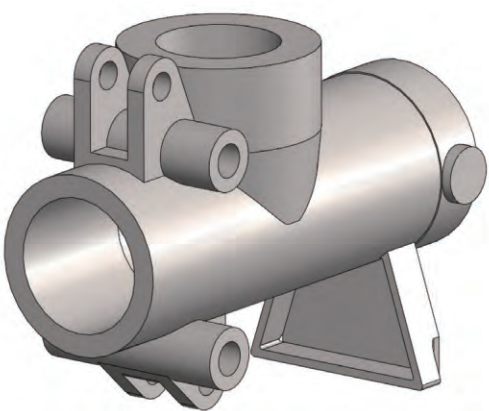
该零件为不规则缸体结构，其材质为 $0\text{Cr}17\text{Ni}4\text{Cu}4\text{Nb}$ (17-4PH)，为马氏体不锈钢，它既具有高的强度、硬度，又具有良好的塑、韧性和耐蚀性，且力学性能优良。

图 2 标注了该零件主要尺寸，A、B 两基准位置均由高精度孔、连接螺纹和密封圈沟槽所组成，是标准的回转体特征；两处安装固定孔与 A、B 基准有严格的垂直度要求，安装孔端面与 A、B 基准有严格的对称度要求。

2. 零件毛坯、定位基准选择

依据垂直油缸零件的特点，我们首先分析零件毛坯的选取和加工过程中定位基准的选择。在许多情况下，零件的技术条件能否获得保证，首先取决于加工基准和装夹方式的选择正确与否。

零件故采用铸造工艺加工零件毛坯，外形复杂不规则，如图 3 所示为零件铸件毛坯图。为有效保证 A、B 两处基准孔的尺寸公差及形位公差，故选择与两基准均有形位公差要



(2) 分析②处形位公差。 $\phi 12^{+0.03}_{-0.01}$ 孔端面尺寸 72 对于基准 A、B 的对称度 0.03 要求为：在保证上述垂直度要求的情况下，通过一面两孔组合定位，控制“ $\phi 22$ 端面和工艺凸台”所形成的平面距离 A、B 基准孔的距离，可以间接保证对称度要求。作为加工 A、B 基准孔的定位平面，通过工装夹具控制车床主轴与安装基准面之间的距离来保证该形位公差要求。因零件图样要求的 72 尺寸公差较大，之前加工

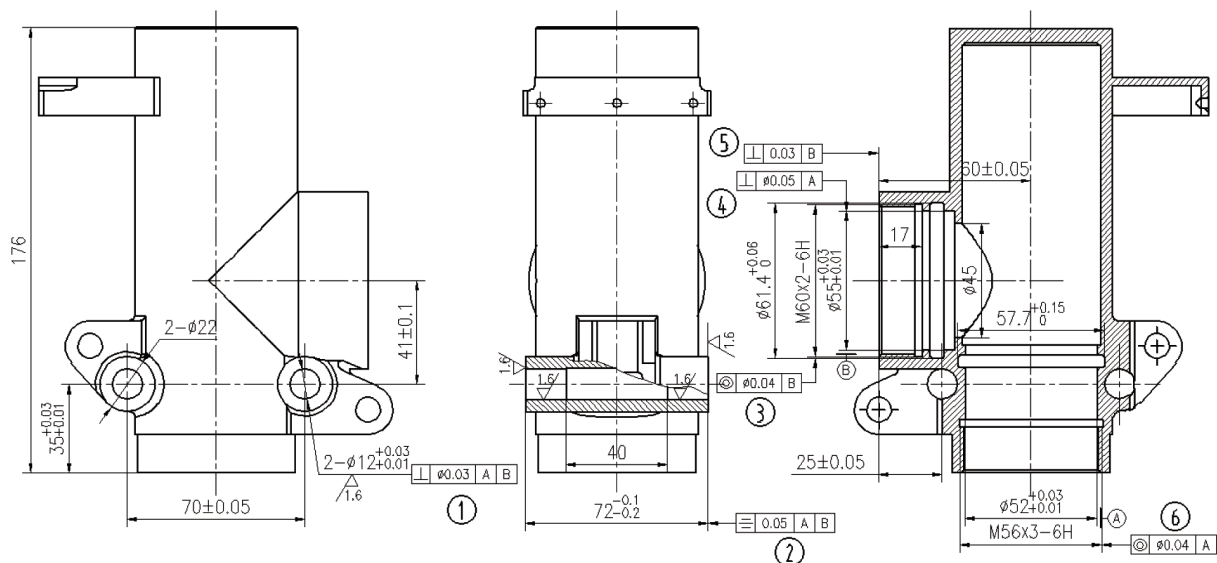


图4 垂直油缸主要尺寸

中保证尺寸 $72 \begin{smallmatrix} -0.1 \\ -0.2 \end{smallmatrix}$ 为 $72 \begin{smallmatrix} -0.10 \\ -0.13 \end{smallmatrix}$ ，后续可以通过研磨 72 尺寸端面来有效修正该对称度误差。

(3) 分析④处形位公差。B 基准孔相对于 A 基准孔的 0.05mm 垂直度要求为：通过工装定位“ $\Phi 22$ 端面”和“ $\Phi 12$ 孔”来进行基准转换，间接保证，控制 A 基准轴线相对于机床主轴的垂直度来保证垂直度 0.05mm 的要求。

三、花盘工装设计

通过上述分析，工件装夹定位方式确定为一面两孔定位，这种组合定位方式采用的定位元件为支撑板、圆柱销和菱形销。一面两孔定位是一种典型的组合定位方法，是基准统一的具体应用。

1. 零件定位方案确定

工件以平面作为主要定位基准，限制了 Z 向移动、X 轴旋转、Y 轴旋转三个自由度，圆柱销限制 X 向移动、Y 向移动两个自由度，菱形销限制 Z 轴旋转一个自由度。下面结合工件要求，对圆柱销、菱形销进行具体设计如下。

(1) 首先确定销中心距以及公差。两销中心距的基本尺寸应等于两孔中心距的平均尺寸，其公差为两孔中心距公差的 $1/3 \sim 1/5$ ，即： $\delta_{LD}=(1/3 \sim 1/5)$ 。在本文中， $L_D=(70 \pm 0.015)$ mm，则： $L_d=(70 \pm 0.005)$ mm。

(2) 确定圆柱销直径以及公差。圆柱销直径基本尺寸等于孔的最小实体尺寸 D_2 ，公差一般选择 g6 或 h7，故：

$$d_1 = \Phi 12.01 \text{ g6 } \begin{pmatrix} -0.006 \\ -0.017 \end{pmatrix} = \Phi 12 \begin{pmatrix} +0.004 \\ -0.007 \end{pmatrix} \text{ mm.}$$

(3) 确定菱形销直径和公差。选用“B 型菱形销”，查表知菱形销宽度为 4mm，即 $b=4$ ；然后确定补偿量：

$$a = (\delta_{LD} + \delta_{Ld}) / 2 = (0.03 + 0.01) / 2 = 0.02$$

计算最小间隙：

$$X_{2\min} = 2ab / D_2 = (2 \times 0.02 \times 4) / 12.01 = 0.0134$$

(4) 计算菱形销的直径：

$$d_2 = D_2 - X_{2\min} = 12.01 - 0.0134 = 11.9966 \text{ mm}$$

菱形销直径一般选取 h6 公差，故：

$$d_2 = \Phi 11.9966 \text{ h6 } \begin{pmatrix} 0 \\ -0.011 \end{pmatrix} \text{ mm} = \Phi 12 \begin{pmatrix} -0.0034 \\ -0.0144 \end{pmatrix} \text{ mm}$$

设计结果如图 5 所示。

2. 工装夹紧方式

工件定位平面由两 $\Phi 22$ 端面、一个 $\Phi 20$ 工艺凸台面组成，因此考虑加紧方式应在此三处进行，如图 6 所示。在两 $\Phi 22$ 端面采用组合压板，进行压紧；在 $\Phi 20$ 工艺凸台面用“V”型压块进行压紧。

3. 工装其他设计要点考虑

设计车床夹具时除了要保证工件达到工序的加工精度要求外，还应该考虑以下几点。

夹具的结构应力求紧凑、轻便、悬臂尺寸短，使重心尽可能靠近主轴。夹具悬伸长度 L 与其外廓直径尺寸 D 之比，参照以下数值选取，对于直径在 150 ~ 300mm 间的夹具： $L/D \leq 0.9$ 。

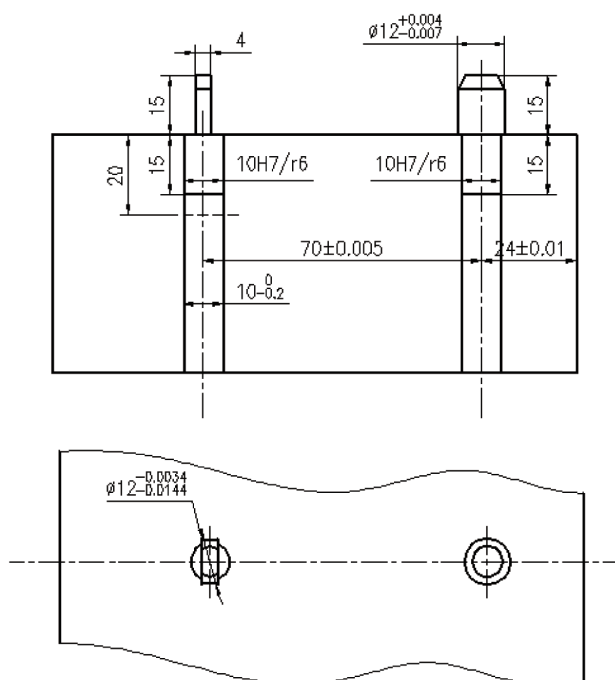


图5 一面两孔定位设计

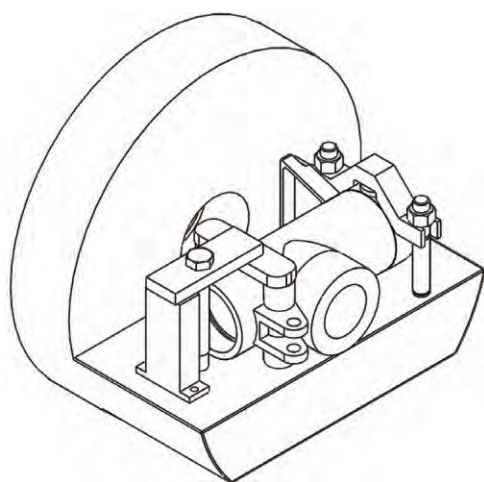


图6 工装夹紧方式

夹具应有平衡措施,消除回转的不平衡现象,以减少主轴轴承的不正常磨损,避免产生振动以及振动对加工质量和刀具寿命的影响。平衡块的位置应可调整。

夹紧装置除了应使加紧迅速、可靠外,还应注意夹具旋转的惯性力不能使夹紧力有减小趋势,以防止在回转过程中夹紧元件松脱。

下面我们对该工装夹具的各设计要点进行核对分析,保证工装夹具的可靠性。

(1) 工装与机床定位连接。

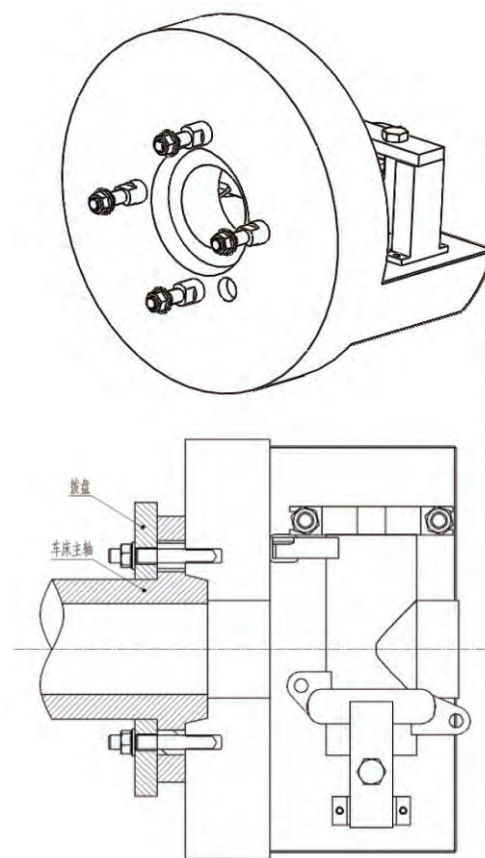


图7 工装与车床主轴连接方式

为有效保证夹具与车床主轴的安装定位精度,该夹具通过锥孔与车床主轴进行连接,如图7所示,参照JB2521-79《法兰式车床端面主轴端部尺寸》,选用C型连接方式的过渡盘。它的连接方式为:通过法兰盘上的四个螺钉,穿过主轴上的四个孔,转动主轴上的拨盘,使其卡住螺母位置,拉紧螺钉,利用主轴端面和主轴上的1:4锥面,与工装端面和锥孔来实现自动定心、压紧,这种安装方法简单实用,定位准确,牢固安全。

(2) 工装外形设计以及平衡考虑。

工装零件图如图所示,选择花盘直径为300mm,工装总长192mm, $L/D=0.64$ 小于0.9,满足要求。

如图8所示,利用SolidWorks的质量特性测试软件,可知工装连带工件重心位置,X方向为机床主轴方向,在工装平衡分析上不予考虑,在此仅对图示Z、Y两方向进行分析, $Z=0.48\text{mm}$, $Y=-20.05\text{mm}$,即说明装配体整体重心

偏下 20.05mm, 在加工时需要在工件正上方增加配重来消除回转不平衡现象, 因此在工装上不设计配重安装孔, 增加配重块保证回转平衡性。

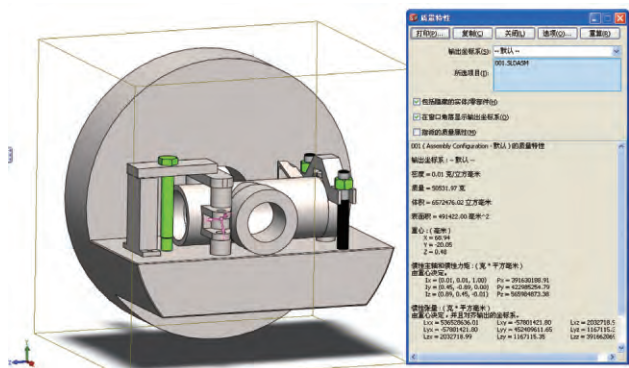


图 8 重心位置示意图

4. 工装设计图样

工装主体设计图样具体如图 9 所示。

四、工装定位精度校核

1.B 基准对应 A 基准的 0.05mm 垂直度定位误差

B 基准对应 A 基准的 0.05mm 垂直度要求, 即 B 基准轴线必须位于距离为公差值 0.05mm、且垂直与基准 A 轴线的两平行平面之间, 如图 10 所示。

工件上两定位孔孔径为 $D=\Phi 12^{+0.02}_{+0.01}$ mm, 已知圆柱销直径为 $d_1=\Phi 12^{+0.004}_{-0.007}$ mm, 菱形销直径为 $d_2=\Phi 12^{-0.0034}_{-0.0144}$ mm, 则圆柱销与孔的最大间隙为:

$$X_{lmax}=D_{max}-d_{lmin}=[(12+0.02)-(12-0.007)]$$

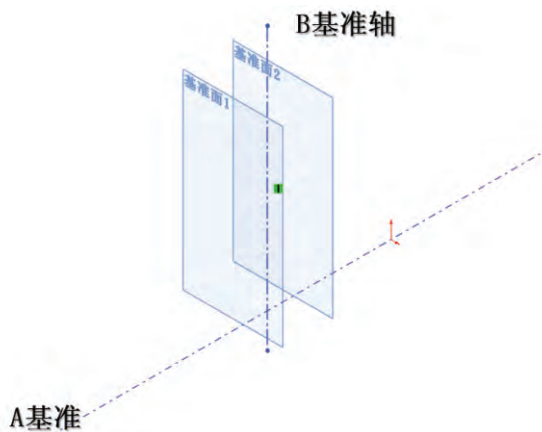


图 10 垂直度公差示意图

$$mm=0.027mm$$

菱形销与孔的最大间隙为：

$$X_{2\max} = D_{\max} - d_{2\min} = [(12 + 0.02) - (12 - 0.0144)]$$

$$mm=0.0344mm$$

分析垂直度定位误差, 由于圆柱销和菱形销分别与两定位孔之间存在间隙, 因此两孔中心连线的变动可有如图 11、图 12 所示四种位置, 分析可知图 12 所示两柱销定位处异侧偏转时, 两孔中心连线偏转角度 α 要明显大于图 11 所示的角度 β , 因此我们应选取图 12 所示情况来进行垂直度定位误差分析。

由工件零件图可知，B 基准孔外端面距离 A 基准轴线间的距离为：

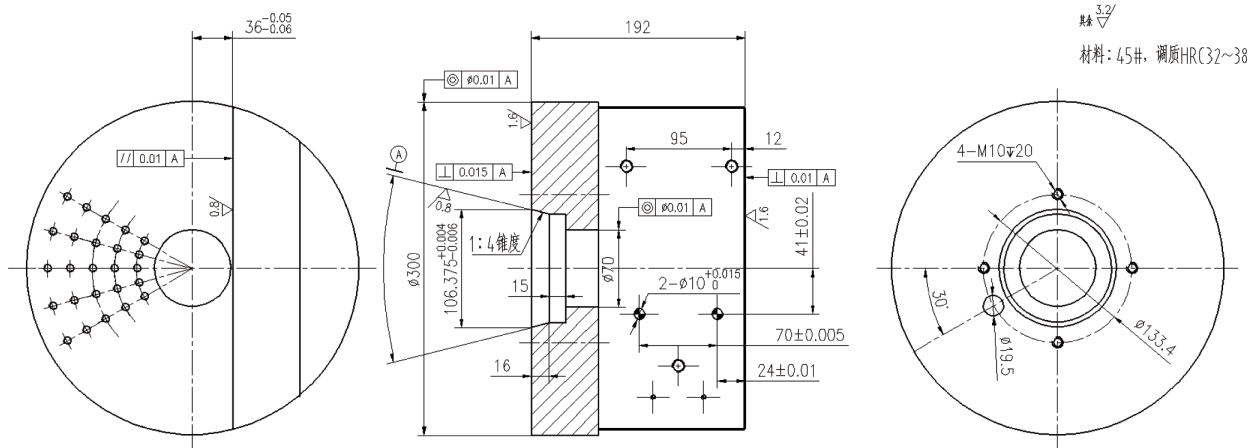


图 9 工装主体设计

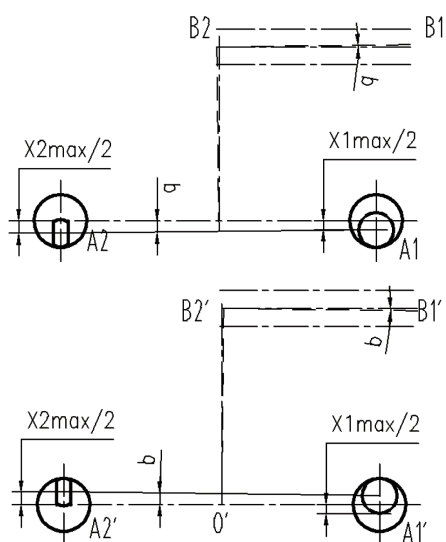


图 11 两柱销定位处同侧偏转

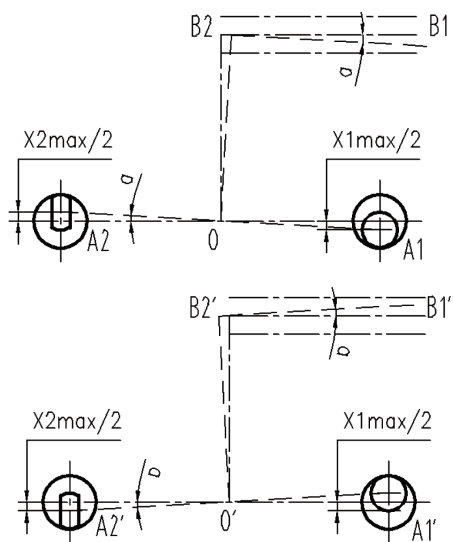


图 12 两柱销定位处异侧偏转

$$L = (60 - 17) \text{ mm} = 43 \text{ mm}$$

结合垂直度的定义，此处分析的垂直度定位误差即在 43mm 长度范围内，与图示水平线夹角 α 的直线两端 $B1B2$ 之间的垂直距离 x 。建立几何模型， $A1A2$ 与 $B1B2$ 平行，则：

$$\tan \alpha = (X_{1\max}/2) / A_1O = (X_{2\max}/2) / A_2O = x/43$$

结合比例定理可得：

$$[(X_{1\max}/2) + (X_{2\max}/2)] / (A_1O + A_2O) = x/43$$

$$\text{即：} [0.0135 + 0.0172] / 70 = x/43$$

$$\text{得：} x = 0.0189 < 0.05$$

即垂直度定位误差为 0.0189mm，满足图样垂直度 0.05mm 的要求。

2. 工装使用效果

此套专用工装结构简单、安装便捷且零件装夹较方便。不仅提高了加工效率，还在 5 件试验件加工中，全部满足图样的各项尺寸和形位公差要求，主要检测尺寸如表所示。

表 试制件检测结果

图样要求	$\perp \phi 0.03 \text{ A B}$	$\equiv 0.05 \text{ A B}$	$\perp \phi 0.05 \text{ A}$
1	0.02	0.03	0.02
2	0.015	0.02	0.015
3	0.02	0.02	0.03
4	0.01	0.01	0.02
5	0.015	0.03	0.025

实践证明，通过工装有效的保证零件各要素之间的形位公差要求。

五、结语

本文以垂直油缸零件作为研究对象，通过分析零件各尺寸公差、形位公差的特点，有效地选用一面两孔的定位方式，并经过对一面两孔定位方法中所使用的圆柱销和菱形销定位精度进行计算，利用现有的工艺条件，创新并实施了相关工艺措施，利用普通车床和工装对零件的关键特征进行加工，不仅保证了 A、B 两基准孔、内螺纹、密封槽的加工精度，又保证了零件各要素之间的形位公差要求。实践证明此套工装，完好地实现了该道工序的加工，能够满足设计图样的要求。 