

# 叉形环与球形箱底环形焊接夹紧机构设计

## Welding and Clamping Mechanism Design of Spherical Base and Fork-Like Ring

首都航天机械公司 孔德跃 何凡锋 王伟明 章勇 吴新录

**[摘要]** 通过分析新一代运载火箭叉形环与球形箱底环形焊接的结构特点,针对其研究了一种新型的焊接夹紧机构。介绍了机构的组成与工作原理,分析了夹紧机构的可靠性。该焊接夹紧机构有效地实现了叉形环与球形箱底焊接夹紧定位,满足了新一代运载火箭的焊接工艺要求。

**关键词:** 焊接 运载火箭 夹紧机构 叉形环

**[ABSTRACT]** A new welding and clamping mechanism of the new generation of launch vehicle is proposed by analyzing the structural characteristics of the spherical base and fork-like ring. The composition and the working principle is described and the reliability of the clamping mechanism is analyzed. The clamping mechanism realizes the clamping and positioning of the spherical base and fork-like ring effectively. It satisfies all the requirements of the welding process to a new generation of launch vehicles.

**Keywords:** Welding Launch vehicle Clamping mechanism Fork-like ring

我国正在研制新一代大型运载火箭,与现有型号相比,新一代运载火箭不仅外形尺寸变化较大,而且采用了大量新的结构形式,给生产制造带来了很大的难度。传统的加工工艺已经难以满足生产要求,特别是火箭的叉形环与球形箱底的焊接工艺难以突破。其主要难点在于叉形环与球形箱底难以实现定位夹紧。因为,焊接时,大直径薄壁筒段零件之间要保证均匀合适的间隙,不能存在过大或过小的间隙。间隙过大,无法焊接;间隙过小,容易形成焊接缺陷,直接影响到焊缝的质量,从而影响到产品的质量。因此,叉形环与球形箱底必须要有可靠的夹紧定位。现有的焊接设备,只能应用在直径 3.35m 以下的火箭系列,已经不能满足大直径叉形环与球形箱底环形焊接工艺要求。所以,为确保 5m 大直径系列火箭零件的焊接可靠性,保证新型运载火箭的生产加工质量,有必要研制可靠的焊接夹紧机构。针对这一问题,本研究运用非标准设计及封闭空间特殊设计方法,设计了一套新的焊接夹紧机构。

## 1 问题分析

叉形环与球形箱底的形状如图 1 所示。从图 1 可以看出,叉形环与球形箱底在焊缝连接处都是球面,其内部空间是上半部分是封闭的。另外,焊缝位置与水平方向存在  $45^\circ$  倾斜角。而且,在垂直与横向两方向都存在偏移量(垂直方向的偏移量称为纵缝,水平方向的偏移量称为错缝)。为保证焊接质量,两焊件之间纵缝间隙不得大于 0.2mm,错缝间隙不得大于 0.1mm,否则焊接质量无法保证。因焊缝存在  $45^\circ$  倾斜角,如果直接进行焊接,那么焊接熔池由于重力作用会偏于下方,造成上部分溶料不足,无法形成符合要求焊缝。因此,在焊接时,需要将两部分零件整体偏转  $45^\circ$ ,使得焊接区域垂直,以便形成良好的熔池。一个零件的夹紧定位需要限制 6 个自由度,对于叉形环与球形箱底的定位夹紧,则须考虑从内部与外部对其施加压力来固定。

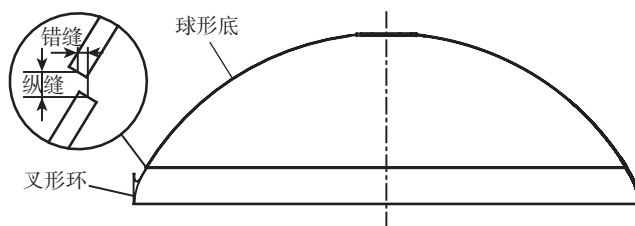


图1 叉形环与球形箱底焊接形状

Fig.1 Welding shape of spherical base and fork-like ring

根据实际焊接经验,结合零件特点,制定的焊接方案如下:采用 TIG (钨极氩弧焊) 焊接工艺。焊接前先由工装保证将 2 件焊接工件(叉形环与球形底)撑圆、夹紧(夹紧压力不小于 2MPa),确保两焊件之间纵缝间隙小于 0.2mm,错缝间隙小于 0.1mm。然后,翻转工装  $45^\circ$ ,再利用工装主轴边旋转,焊枪从上方同时进行焊接,如图 2 所示。

## 2 结构与工作原理

叉形环与球形箱底的环形焊接装置整体结构如图 3 所示。由于工艺要求两焊接工件纵缝与错缝间隙很小。而传统意义上的焊接工装只是起到定位夹紧功能,无法

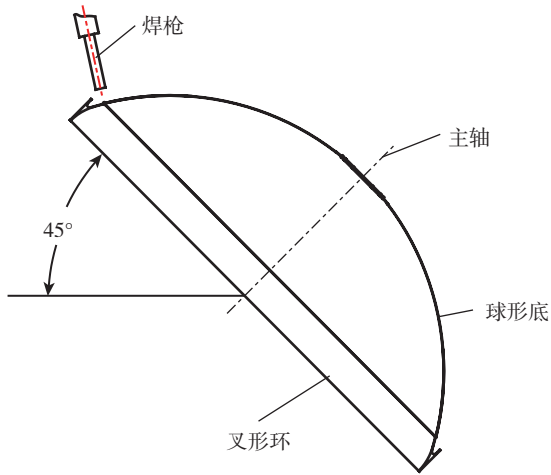


图2 45° 焊接位置图  
Fig.2 Position of 45° welding

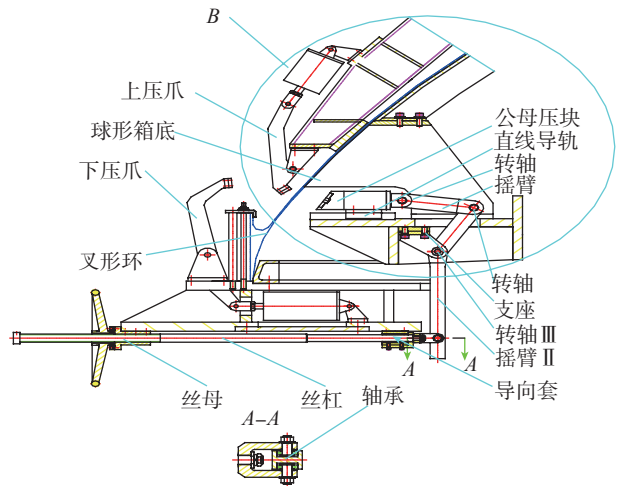


图4 夹紧部位  
Fig.4 Clamping position

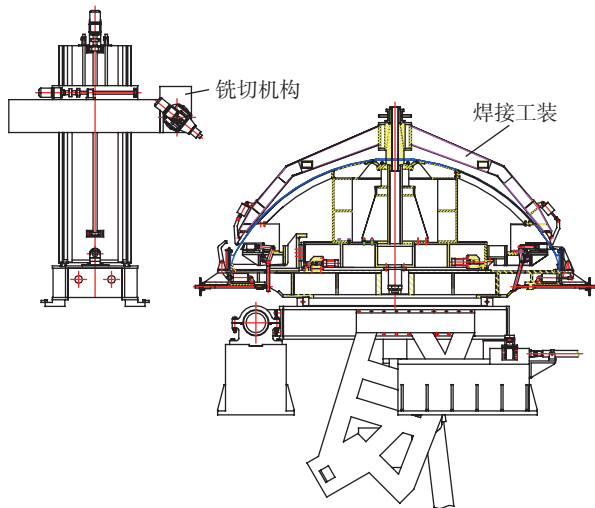


图3 设备整体结构  
Fig.3 Whole structure of machine

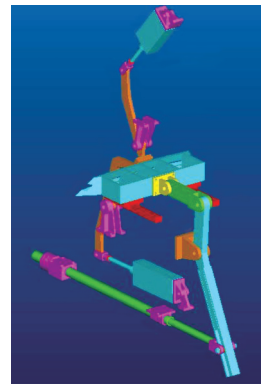


图5 三维模型图  
Fig.5 3D-model

满足工艺要求,在此不适用。因此,有必要采用非标准设计,即先对球形底进行焊前加工,做到加工与焊接一次装夹。为了实现对球形底的焊前加工,提出了升降式可加工工装,即产品被装夹后能自由升降,同时还可以被附带的铣切机构进行加工,这样可以确保两焊件之间纵缝间隙小于 0.2mm,错缝间隙小于 0.1mm。

焊接工装的夹紧装置部分如图 4 所示,图 5 为机构的三维模型。该装置主要布置于产品内部,工作过程是:先装夹固定叉形环,然后,让压紧工装上半部分(圈 B)上升 70mm,接着固定球形箱底。之后,公母压块件顶出,上压爪件向下压紧,固定球形箱底,接着对球形箱焊接边缘进行铣切加工。结束后,上压爪机构松开,公母块退回,压紧工装下降 70mm。到合适位置后,公母压块及上下压爪同时压紧,对产品进行固定。最后,对叉形环

与箱底进行焊接。

从实现过程可以看出,在铣切前要将工装上升 70mm,而且,在两种高度下必须利用同一套机构完成夹紧固定功能。在实现过程中,创造性的提出了滑动式升降夹紧办法。即在丝杠件的头部安装了一对轴承,使它在摇臂 II 滑槽中滑动。这样工装可以实现自由上下升降,同时实现夹紧固定功能。而且,采用螺纹传动,具备自锁功能,所以,可以保证工装具有很好的刚性。在这套夹紧机构中,充分采用了直线导轨、导向套等成品件,达到了调整更加轻便灵活的使用效果,而且提高了定位精度。

### 3 公母压块

对于圆筒类零件,从外往内夹紧的功能一般容易实现,然而,从内往外夹紧在存空间不足问题,即压块往中心退让时,因空间不足会产生压块之间的相互干涉问题。为解决这一问题,本课题提出了公母压块压紧机构(如图 6 所示)。该机构由 12 块公压块与 12 块母压块

绕圆一周紧密相贴组成。公压块的两端面成  $105^\circ$  夹角分布,面向圆心;母压块的两端面成  $85^\circ$  夹角分布,朝向与公压块相反。压紧时,公压块预先压紧筒壁,然后,母压块压紧;松开时,母压块先向圆心退出,而后,公压块松开。通过公母压块压紧的方法,成功地解决了压块退出空间不足问题,而且,采用多块式结构能使压力均匀分布在筒壁,避免对产品造成破坏。

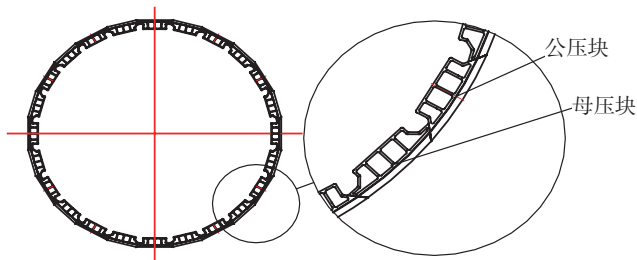


图6 公母压块图

Fig.6 Positive and negative briquette pairs

#### 4 验证夹紧的可靠性

为实现可靠夹紧及合理均布载荷,在这套夹紧机构中采用了椭圆形气缸(192个/周)。椭圆形气缸的采用有效地解决了多个气缸并列排列的空间不足问题。该气缸型号为 MUD63-150DM,最高使用压力  $0.7\text{MPa}$ ,有效缸径  $\phi 60\text{mm}$ ,因此,最大输出力为:

$$F = 0.7 \times \frac{\pi 60^2}{4} = 1.979\text{kN} \quad ,$$

经过压紧机构增力后(如图7所示),最大压紧力为:

$$P_{\max} = \frac{F \times \cos(14.44^\circ) \times 238}{50} = 9.123\text{kN} \quad .$$

从结果可以看出,压紧机构将输入压力增大了4.6倍。根据压块与被压材料的接触面积为  $0.003\text{m}^2$ ,可以算出所受压力:

$$N_f = \frac{P_{\max}}{A} = \frac{9123}{0.003} = 3.04\text{MPa} \quad ,$$

显然,  $N_f$  大于  $2\text{MPa}$ ,满足设计要求。

对于公母压块机构(如图8所示),连杆的放大比为  $373/224=1.67$  倍,压块机构是通过摇动手轮旋转再驱动连杆顶住压块。而且,螺旋副存在自锁功能,刚性好,即使外圈压紧机构对其施加很大压力也不会产生移动。

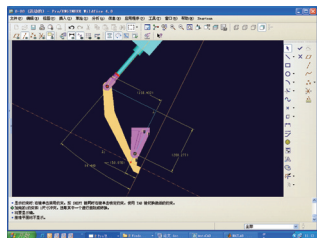


图7 上压紧机构

Fig.7 Upper clamping mechanism

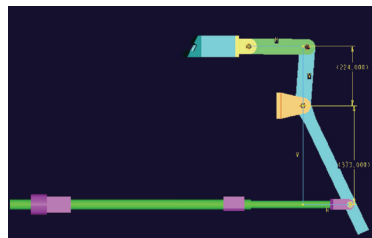


图8 下压紧机构

Fig.8 Lower clamping mechanism

因此,夹紧定位效果理想,满足设计要求。

#### 5 结束语

本研究介绍了叉形环与球形箱底环形焊接工艺过程,分析了实施过程中存在的难点,提出了升降式夹紧机构的设计方案,实现了  $5\text{m}$  大直径产品的撑圆、定位夹紧、升降功能,满足了工艺要求。通过理论计算,分析验证了夹紧装置对产品压紧功能的可靠性。

#### 参考文献

- [1] 文熙. Pro/ENGINEER 野火版 3.0. 北京: 电子工业出版社, 2007.
- [2] 孙桓,陈作模,葛文杰. 机械原理(第七版). 北京: 高等教育出版社, 2006.
- [3] 孟宪源. 现代机构手册(下). 北京: 机械工业出版社, 1994.

(责编 小城)

(上接第92页)

执行下一步排故工作。

在上一步排故工作中更换了预冷器控制活门后,不能保证故障已经彻底排除,因为在预冷器控制活门出现卡阻的情况下不排除预冷器控制传感器同时失效的可能性。这时就要在更换预冷器控制活门后,再次进行  $85\%$   $N1$  功率的试车,打开空调组件,保持  $2\text{min}$ ,仔细观察引气压力指示变化。如果引气压力指示回升至正常范围,则故障排除;如果引气压力指示回升不到正常范围,说明预冷器系统中的预冷器控制传感器也是个故障件。

如果在更换了预冷器控制传感器和预冷器控制活门后,故障仍未彻底排除,则更换  $450^\circ\text{F}$  ( $232.2^\circ\text{C}$ ) 恒温器,原因是  $450^\circ\text{F}$  ( $232.2^\circ\text{C}$ ) 恒温器在未达到  $440^\circ\text{F}$  ( $226.7^\circ\text{C}$ ,在该温度以上时,预冷器控制活门才能在预冷器控制传感器的控制下作动到全开位并提供最大流量的风扇冷却气体)时提前起到了温度限制作用,以致引气压力降低。顺便指出,这种情况只是理论上有可能,在实际维护工作中还没有相应的案例。

#### 4 结束语

排故试车时,只有在打开空调时故障现象才会表现得更加明显,原因是引气的流动才会把引气的温度信息有效地传递给  $450^\circ\text{F}$  ( $232.2^\circ\text{C}$ ) 恒温器和预冷器控制传感器,因此在隔离故障试车时要打开空调组件。

该方法仅仅适用于隔离现象为“起飞爬升时或大功率时引气压力低,而巡航时引气压力恢复正常”的引气系统故障。

(责编 侧卫)