

# 空间推进器制造中的可破坏性工装

徐之焜

(上海航天动力机械研究所, 上海 200233)

**摘 要:** 由于航天研究的特殊性, 其预研型号零件一般批量很小, 并且有许多零件不易装夹。选用一种不同于传统专用工装的可破坏性工装, 其材料可以是金属的, 也可以是非金属的。为保证进度, 必须建立预先性的可破坏性工装的数据库。采用可破坏性工装缩短了研制周期, 降低了研制成本。

**关键词:** 可破坏性工装; 基本数据点; 工艺风险评估

**中图分类号:** V423

**文献标识码:** A

**文章编号:** (2007) 03-0047-05

## The breakable fixtures in manufacture of aerospace propulsion system

Xu Zhikun

(Shanghai Spaceflight Institute of Power Machinery, Shanghai 200233, China)

**Abstract:** A kind of breakable fixture in manufacture of aerospace thruster was developed for decreasing the production cost and time through basic points parameters data establishing. The design method was introduced in this paper. The material for the breakable fixture is easy for cutting and can be metal or nonmetal.

**Key words:** breakable fixtures; points of database; P-FMEA

### 1 引言

发动机研制中有许多不同种类的零件, 并且这些零件的个数不多, 一般只有几个。发动机调

整垫片 (图 1) 就是其中的典型零件, 它主要用来调整推力器推力轴线, 并且考虑到发动机的设计外形和推力轴线的要求, 发动机调整垫片经常不能在不同型号之间的发动机通用。所以, 往往为了一种发动机需要独立研发一种适合它的调整

收稿日期: 2007-02-26; 修回日期: 2007-03-30。

作者简介: 徐之焜 (1980—), 男, 助理工程师, 研究领域为难加工材料的机械加工及计算机辅助数控加工。

垫片。

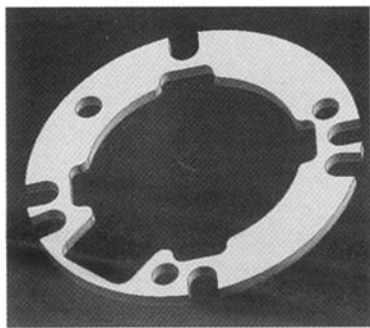


图 1 垫片  
Fig.1 Gasket

这种零件一般使用非金属制造，目前使用的非金属材料主要是高分子聚合物。高分子聚合物主要由铸造而成，材质比较均匀，耐高温，适合发动机高温、高腐蚀的恶劣工作环境。

该零件为了能够起到调整推力器轴线的作用，它的内腔（图 1）与喷管组件相配，部分的调整能力通过它的厚度来控制，一般视总体要求推力器轴线的精度的要求而定。通常为 1~2.5mm。此外，外型上的螺纹通孔和圆槽都关系到推力室安装时的位置和管路的安置。所以，发动机调整垫片虽小，却是一个十分重要的零件。

2 工艺过程风险评估

通过上面的介绍，发现这个零件的结构比较简单，精度要求也不高，通过对这个零件的 P-FMEA（工艺工程风险评估）分析，发现它的 RPN（风险系数）很高。通过表 1 来逐个分析：

表 1 工艺工程风险评估  
Tab.1 P-FMEA

序号	加工问题	RPN
1	预紧力不足	75
2	定位困难	70
3	零件内腔保证困难	85

(1) 预紧力不足，主要发生在这个零件在完成车加工后，来料被加工成了圆环形零件（图 2），并且该零件的厚度一般只有 1~2.5mm，造成了该零件在铣加工内外形时，加紧受力面积过小，预紧力不足。

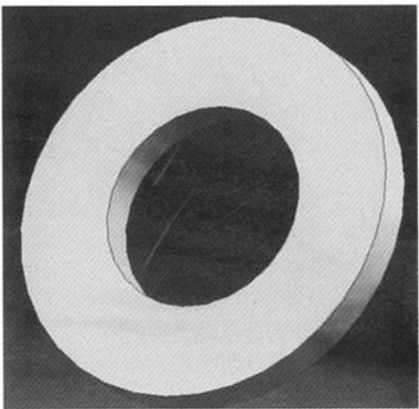


图 2 车加工后零件形状  
Fig.2 The part after turning

(2) 定位困难，这个零件内外形要占去零件端面的面积的绝大部分，这样便造成了加工时零件的定位非常困难，必须让开这些有加工要求的地方。

(3) 零件内腔几何尺寸保证困难，由于预紧力不足和定位困难，造成了加工时窜动厉害，零件内腔几何尺寸难以满足设计要求。

降低 RPN 的方法是使用工装，通过工装的使用对零件施加足够的预紧力，提供足够的定位面。因此，选用适合的工装是零件加工成功的关键。

3 选用可破坏性工装的可行性

零件加工需要工装保证时，需申请唯一的专用工装号进行工装设计，这个工装在零件加工前和零件加工后，工装本身的形状、尺寸精度、位置公差及表面粗糙度不会有变化。这是传统的工装。那么，对于这个零件要设计一个传统工装，存在以下问题：

(1) 工装设计繁琐。工装的上盖板必须避开这个零件的形状，包括零件的内腔、三个螺纹通孔及零件外形圆槽，并且要留下足够的下刀位置和下刀的空间。因此，工装设计时的空间位置计算必须十分准确。

(2) 工装的制造成本高。首先，调整垫片材料是一种高分子聚合物，价格比较便宜。然而，工装的材料是合金结构钢，它的价格总体比这批零件的材料费都要高得多；其次，工装必须

要经过热处理，所以，在工装加工时，必须有详细的工艺流程，需投入大量人力和设备。因此，它的制造成本远超过了零件本身的成本。

为了避免出现上述的情况，同时也要保证零件达到设计要求，提出了可破坏性工装：允许工装在加工零件前后有明显的变化，即破坏性，并且工装可以重复使用，它与传统工装相比有许多的优势（表 2）。

表 2 可破坏性工装与传统工装的对比

Tab.2 Comparison of the breakable fixture with the traditional one

	材料	材料的成本	结构	工装设计	工装加工的成本
传统工装	结构钢	高	复杂	困难	高
可破坏性工装	非金属、易加工金属	低	简单	简单	低

从表 2 可看出使用可破坏性工装，设计成本和制造成本都很低，并且制造时间短，所以加工此类零件采用可破坏性工装是可行的。

4 可破坏性工装的设计和使用结果

选用制造可破坏性工装的材料是易切削材料，它可以是金属的，也可以是非金属的。以一般的铝金属为例：

- (1) 铝金属是航天使用较多的材料，在制造车间的绝大部分都能找到这种材料，而且这个可破坏性工装的材料可以使用平时加工剩下的铝金属，这样便可大大降低工装成本；
- (2) 铝金属材料加工性能比较好，切削参数的范围比较大，使用同一参数同时加工零件和工装时，不会造成损伤和尺寸偏差。

这个可破坏性工装有上盖、底座、螺栓及销子组成。

上盖（图 3）由两个台阶圆和一个螺纹通孔组成。小圆的直径一定要比零件的内腔圆前一道车加工时的内孔（图 2）直径要大，这样便于施加足够的零件的端面压力。

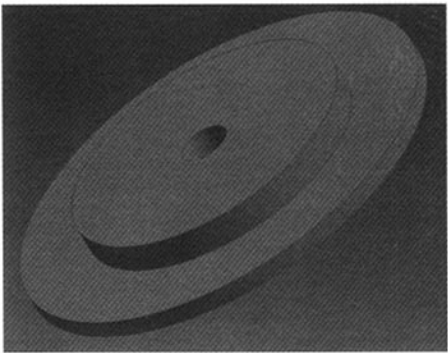


图 3 上盖

Fig.3 The cover

底座（图 4）由三个台阶圆和一个螺纹孔组成。螺纹用来连接旋紧上盖、零件及底座。工装定位零件是通过端面有螺纹的台阶圆，其外径及零件的内径是单边间隙为 0.01mm 的配合。同时，一般加工调整垫片都是几个一起加工，所以该台阶圆必须满足以下的条件：

$$H=h \cdot N-h/3 \tag{1}$$

式中， $H$  为台阶圆的高度； $h$  为调整垫片的厚度； $N$  为一次装夹需要加工调整垫片的数量。

底座中最大的台阶圆是起到托住零件的作用，因此，它的直径一定要比调整垫片的外径要大，以便托住零件。余下的台阶圆起到工装在机床上的定位。同时必须考虑可破坏性工装是可重复使用的，在圆周方向上要求确定方向。

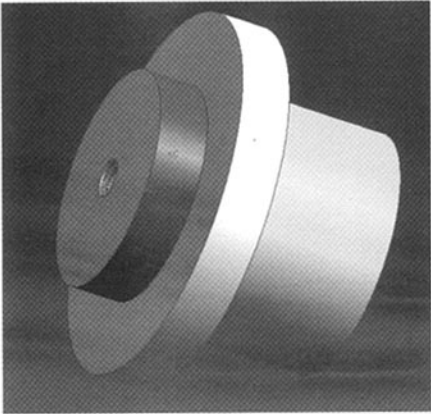


图 4 底座  
Fig.4 The bottom

如果没有确定方向，需要重新加工调整垫片，工装重新装于数控机床上时，使用原有成熟的数控程序，会造成重新加工可破性工装，并有明显偏离上一次的轨迹，影响工装的使用。为了达到可重复使用的要求，先将上盖和底座装配(图 5)，配打销子孔，用销子起到在圆周和径向方向的定位。

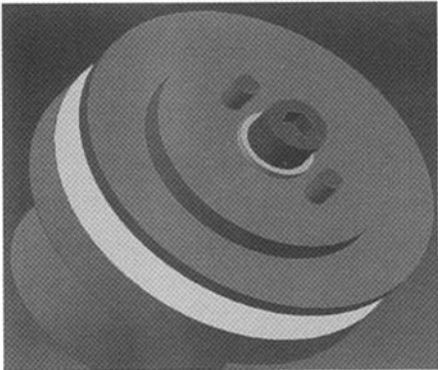


图 5 组合加工  
Fig.5 Machining after assembly

- 其使用的过程如下：
- (1) 用三爪卡盘夹住工装，校正工装外圆(图 4 中最大台阶外圆)，并校正定位销的轴线确保角向位置；
  - (2) 将零件套于底座上，数量根据预先确定的数量，然后盖上上盖，用螺栓缩进；
  - (3) 由于加工时，使用的是数控加工中心 DMC63V，其的 NC SYSTEM 是 SIEMENS 810D，需要编程人员编程。但由于是可破坏性工装，编程人员只需要按照零件的要求进行编程，完全可以不考虑工装。经过第一次加工后，零件和可破坏性工装都加工完成(图 6)。



图 6 可破坏性工装  
Fig.6 The breakable fixture

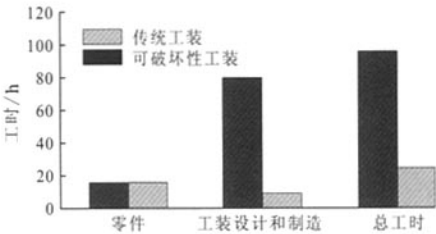


图 7 工时对比图  
Fig.7 Comparison of working time

实际的生产过程中，通过对两种不同方法的工装进行零件加工工作了对比(图 7)。从图中可以清晰地看到零件加工的时间一样，而总的工时却

相差很多。从这个比例图中，使用传统工装时，工装设计和制造占到总工时的 83%，而在使用可破坏性工装，其只占到了 36%。所以，使用可破坏性工装可以大大降低成本，提高生产效率。

5 数据点和数据库的建立

由于近几年科研项目特别多。如果要在生产调整垫片时，才去制造可破坏性工装，那么总会有所延误。为了避免这样的情况出现，必须建立数据点和数据库来预先制造一些可破坏性工装。

表 3 数据库  
Tab.3 Database

调整垫片内孔代号	1	2	3	4	5
工装与零件 定位外径/mm	38	40	42	45	48
工装厚度分布代码	T1	T2	T3	T4	T5
切削参数编码	A1	A2	A3	A4	A4
螺栓旋紧力矩编号	F1	F2	F3	F4	F5

数据点是整个数据库的基础。从调整垫片的

功能要求和工装的设计原理来看，调整垫片的内孔直径是数据点。因为，调整垫片的内孔直接与发动机的外形相配，同时也是工装用来定位零件的地方，所以只要将发动机外形作为参照，推算出调整垫片的内孔直径，就能建立可破坏性工装的数据库（表 3）。通过这个数据库预先制造一批可破坏性工装，既确保零件加工的可靠性，又提高了研发的速度。

6 结束语

在空间推进器的研制和生产中，对某些零件使用可破坏性工装，可以降低研发成本，缩短研发周期。

参考文献：

[1] 吴澄. 现代集成制造技术导论[M]. 北京:清华大学出版社, 2006.  
[2] 李培根, 张洁. 敏捷化智能系统重构与控制[M]. 北京:机械出版社, 2006.

(编辑：马 杰)

简讯

6月1日，我国在西昌卫星发射中心用“长征三号甲”运载火箭成功将“鑫诺三号”通信卫星送入太空。

这次发射是长征系列运载火箭的第 100 次飞行。从 1970 年 4 月 24 日长征一号火箭成功发射“东方红一号”卫星以来，长征系列运载火箭走过了从常规推进到低温推进、从串联到捆绑、从一箭单星到一箭多星、从发射卫星到发射飞船的技术历程，形成了长征一号、长征二号、长征三号和长征四号 4 个系列，具备了发射低、中、高不同轨道、不同类型卫星的能力，先后成功地发射了我国第一颗返回式科学技术试验卫星、第一颗通信卫星、第一艘载人飞船，并多次承揽发射国外商业卫星，在国际商业卫星发射服务市场上占有一席之地，成为我国具有自主知识产权和较强国际竞争力的高科技产品。