

固体火箭发动机用大直径卡环结构及加工工艺方法

张鹏 施延龄 张文
(西安长峰机电研究所, 西安 710065)



摘要: 介绍了固体火箭发动机用大直径卡环的组成结构、卡环与发动机的连接形式、卡环的材料选用及技术要求。依据卡环的结构和工艺特点,对其加工工艺难点进行了分析,指出应采取的措施;并提出应用车削加工卡环的新方法,同时对卡环车削原理即螺纹成型法,和螺纹牙型、螺距、车削刀具、车削时刀具的起始与终始位置、磨削成型等工艺方法做了详细叙述。这一方法既省时省力,又保证卡环的加工精度。

关键词: 大直径卡环; 结构; 加工方法

Large Diameter Clasp Structure of Solid Rocket Motor and Method of Processing Technology

Zhang Peng Shi Yanling Zhang Wen
(Xi'an Changfeng Research Institute of Mechanism and Electricity, Xi'an 710065)

Abstract: This paper introduces the composition of large diameter clasp for solid rocket motor, connection form of clasp and the engine, selection of materials and technical requirements. According to the structure and process characteristics, process difficulties are analyzed and the corresponding measures are presented. A new turning method is proposed and described from the turning principle of screw thread machining method and a series of technology methods of thread profile, pitch, turning tools, starting and end position of the tool while turning, and grinding molding process. This method not only saves time and effort, and guarantees the accuracy.

Key words: large diameter clasp; structure; processing method

1 引言

固体火箭发动机的连接结构中,常采用法兰连接结构、螺纹连接结构。近年来,卡环连接结构在国内固体火箭发动机上得到应用。我所某型号发动机技术性能要求高,特别是对质量指标要求苛刻,鉴于卡环结构具有结构简单、质量轻、承载能力大、密封可靠等优点,故采用卡环连接结构。卡环连接结构尺寸精度高,加工难度较大。如果工艺设计不合理,不但会明显增加卡环的制造成本,而且也难以保证设计精度,影响发动机的顺利装配,进而影响整个发动机的研制进程。因此,摸索出合理、快捷的加工工艺方法,成为解决卡环生产的关键。

2 典型大直径卡环的组成、形式及连接结构

2.1 卡环的组成

卡环连接结构由上卡环、下卡环、补偿块、盖板、螺钉等零件组成,见图1。

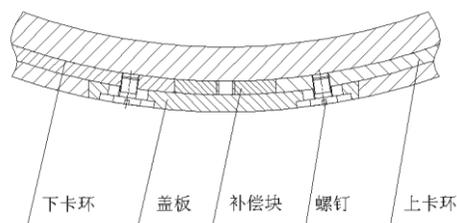


图1 卡环组成图

作者简介:张鹏(1976-),工程师,机械制造工艺及设备专业;研究方向:固体火箭发动机加工成型工艺。
收稿日期:2011-03-31

2.2 卡环结构形式

卡环有矩形卡环（整体式）、螺旋型面卡环（分为上卡环、下卡环）等形式，卡环厚度、宽度较小，一般厚度只有3~6mm，宽度为10~16mm。

螺旋型面卡环成对使用，相互首尾配合，卡环组件示意图见图2。

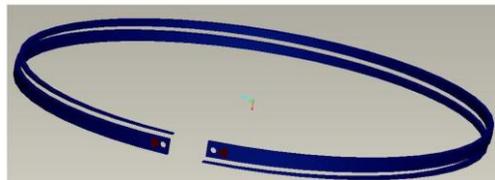


图2 螺旋型面卡环组件示意图

2.3 卡环连接结构

发动机燃烧室壳体与前封头、喷管均可以采用卡环连接结构。以燃烧室壳体与喷管连接为例，其连接结构示意图见图3。

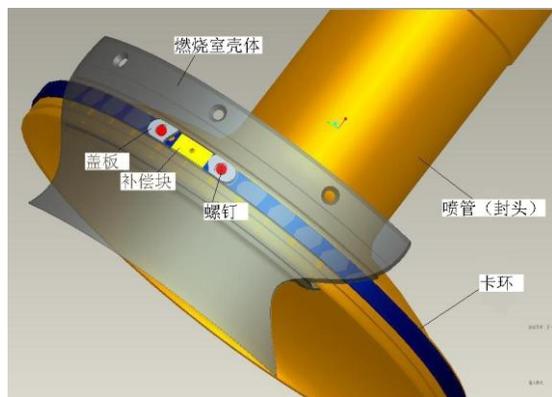


图3 燃烧室壳体与喷管连接结构示意图

3 技术要求、工艺特点及加工难点

3.1 技术要求

根据不同发动机工作压强要求，相应选择卡环材料。工作压强较低时，一般选用加工性能、弹性变形好的20钢；对于高工作强度的发动机，选用正火或调制态的30CrMnSiA、调制态的45钢。大直径卡环外形尺寸：外径 $\Phi 300\sim 500\text{mm}$ （尺寸公差约0.02~0.10mm）、厚度3~6mm、宽度首尾差距大、首尾不相连（间距约30~80mm），为开放式结构、对接型面近似为圆的螺旋型面，端面与外圆的垂直度高（垂直度约0.02~0.06mm）。

现以某型号发动机用卡环为例进行说明，卡环材料选用：30CrMnSiA，硬度：HRC35~40，外径

$\Phi 500_{-0.01}^{-0.02}\text{mm}$ 、内孔 $\Phi 488_{+0.02}^{+0.10}\text{mm}$ 、宽度最大值13mm、最小值1mm、首尾间距50mm、对接型面螺旋角度值（27.4'）、端面与外圆的垂直度0.03mm，上、下卡环配合后总宽度 $14_{-0.05}^0\text{mm}$ 。上（下）卡环结构见图4，卡环组件见图5。

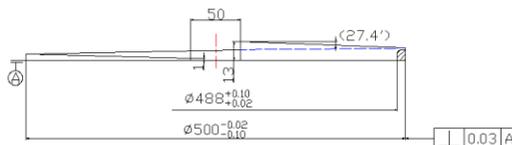


图4 上（下）卡环

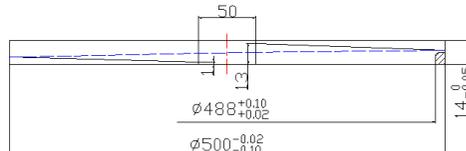


图5 卡环组件

3.2 工艺特点和加工难点

3.2.1 工艺特点

a. 卡环外形尺寸大（外径 $\Phi 500\text{mm}$ ），壁厚薄（6mm），硬度高（HRC35~40），且宽度差距大，最窄处仅1mm、最宽处达13mm；

b. 卡环为开放式结构，首尾间距50mm，刚性较差，自由状态尺寸稳定性差；

c. 卡环成组使用，要求成组配合后宽度尺寸 $14_{-0.05}^0\text{mm}$ ，尺寸精度高；

d. 卡环毛坯采用锻造毛坯，内应力大，加工易反弹、变形，形位公差不易保证。

3.2.2 加工难点

卡环一般成组使用，其对接型面要求高。型面精度，特别是相互配合的型面要求高。若配合型面加工精度差，配合面由面接触变为线接触，将会降低卡环的使用强度；也会造成卡环受力后型面变形，影响卡环的拆卸。对接型面的加工精度便成为加工中需要优先保证的关键因素。

考虑到卡环为开放式结构，在切断时会因为应力作用而使工件反弹，对操作者造成潜在伤害威胁，在加工时应提前考虑工艺防护。

4 采取的措施及主要工艺方法

4.1 采取的措施

a. 针对内应力大的问题，采取先粗车，去掉大量，再进行退火热处理，消除工件内应力，减小变形；

b. 针对尺寸大、壁厚薄, 加工易变形问题, 采用设计辅助工装提高工件加工刚性, 以减少加工过程的变形量;

c. 针对卡环的开放式结构, 可先整体加工, 后线切割分开;

d. 针对保证卡环宽度最大值 13mm、最小值 1mm, 成组配合后宽度尺寸 $14_{-0.05}^0$ mm 等问题, 采用磨床反复调头均匀磨削, 并随机测量保证;

e. 针对卡环端面与外圆的垂直度要求高的问题, 采取内外粘接加强块, 在粘接之前打表找正, 固化, 保证粘接后及磨削加工过程中的垂直度要求;

f. 加工时采用合理的切削量, 避免加工中刀具打滑而产生工件材料硬化。加工中采用合适的切削液, 使得加工中工件与刀具得到润滑与散热, 从而减小了刀具磨损, 同时提高了工件的表面质量。

4.2 主要工艺方法

4.2.1 加工方法的确定

卡环对接型面近似为一圆的螺旋型面, 对接型面可采用数控铣加工, 也可采用车方牙螺纹的方法, 在车床上加工出螺旋面。通过工艺试验验证, 数控铣需采用 5 轴加工中心进行加工, 工件转动与铣刀进给同步联动, 加工程序编制复杂, 对工人技能要求高、操作难度大、经济性不好, 且质量不稳定; 车方牙螺纹的方法, 采用普通车床, 一般工人便能操作, 加工精度高、质量稳定、经济性好, 适合单件及批产加工; 推荐使用车方牙螺纹的方法加工对接型面。

4.2.2 螺距的选择及切断点的选取

确定了用车方牙螺纹的方法加工对接型面, 进行了工艺攻关, 具体就方牙螺纹螺距的选择、切断点的选取等方面开展了技术研究, 并进行了工艺试验验证。具体方法如下:

a. 螺距的选择: 卡环的最宽点是 13mm, 最窄点是 1mm, 两点相距 50mm。如果将两点延长到相接处, 合并成整圆, 最宽点则是 13.2mm, 最窄点是 0.8mm, 两个卡环合并处厚度 14mm。

为了保证牙型宽 13.2mm, 所选螺距应尽量接近 13.2mm, 考虑到切槽刀具的强度与刚度, 结合车床螺距规格, 选用车床型号为 CW6180C, 选取方牙螺纹螺距为 16mm, 取牙型宽 13.2mm, 牙槽宽 2.8mm。同理, 其它规格尺寸的卡环可按此方法选取合适的螺距。

b. 切断点的选取: 方牙螺纹的牙型宽 13.2mm, 已保证了卡环的最宽尺寸, 但要保证最窄点 0.8mm,

就要从螺纹的头部上找到此点。首先计算出螺头 0 点到 0.8mm 的弦长, 用卡尺在螺尾上找到此点, 用卡尺量其宽度 0.8mm, 作一标记。

用刀尖横向划一刻线, 一直划到牙型 13.2 mm 面上, 在后续线切割工序沿划线切断, 即可保证卡环最宽点 13.2mm, 最窄点 0.8mm。

4.2.3 车削刀具的设计

由于牙槽宽仅有 2.8mm, 深度达 6mm。受零件结构限制, 无法采取传统的刀具外形, 为加强刀具的结构强度, 设计了螺旋面槽刀, 由于此刀具结构特殊, 仅靠手工打磨无法完成, 因此首先采用线切割机床加工出刀具的基本外形, 然后由车工手工完成刀具前后角的磨制, 为保证刀具具有较好的结构强度, 采用 $10^{\circ}\sim 15^{\circ}$ 的刀具前后角, 同时, 为便于切屑的排出, 采用了较大的排屑槽, 从而减少了粘刀现象的发生, 更好地保证了型面的加工质量。螺旋面槽刀结构示意图见图 6。

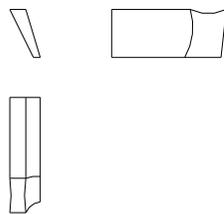


图 6 切槽刀结构示意图

4.2.4 车削过程要求

装夹螺纹切槽刀时, 车刀刀杆中心线应与走刀方向平行。使用百分表找正车刀刀杆, 保证刀杆全长范围跳动量 0.01mm 以内。使螺纹车刀进给与工件外圆垂直, 保证成组使用时配合面的贴合度以及后续装配的互换性。

车外圆时, 车刀的刀尖一般应比工件中心线低 0.1~0.3mm。车内孔时, 车刀的刀尖一般应比工件中心线高 0.1~0.3mm。一般采用内、外圆多次交替车削, 车削深度应逐次减小。

精车时, 应先加工内孔, 内孔留余量 4mm, 即内径 $\Phi 488_{+0.02}^{+0.10}$ mm 按 $\Phi 480$ mm 加工。再加工外圆, 保证外径 $\Phi 500_{-0.01}^{-0.02}$ mm, 粗糙度 $1.6\mu\text{m}$ 。待外圆加工后, 用宽度 2.8mm 切槽刀按螺距 16mm 车螺纹, 螺纹深度 $6_{-0.20}^{-0.06}$ mm, 粗糙度 $1.6\mu\text{m}$ 。临床检验螺纹深度, 合格后再加工内孔。

螺纹深度必须严格保证 $6_{-0.20}^{-0.06}$ mm, 这样才能够保证当内孔加工到位后, 理论上卡环应相互连接在一

体。即使工件发生局部变形，卡环也能够保证大部相互连接，变相增加了工件刚性，利于卡环的机加成形。

4.2.5 车削工装的设计

为避免内孔车到设计要求尺寸时，工件因失去约束而产生变形，影响内孔的加工质量，严重时会发生缠刀、崩刀现象，造成安全事故，故在螺纹车完后，应在外圆装配车削工装，将外圆加以约束，避免工件变形。工装结构示意图见图7。

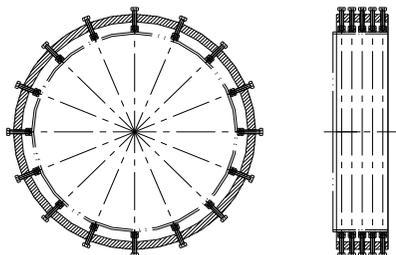


图7 工装结构示意图

4.2.6 卡环的粘接

待上卡环、下卡环车加工后，为保证卡环成组配合后宽度尺寸 $14_{-0.05}^0$ mm，可将上卡环、下卡环粘接成一体，磨削加工保证宽度尺寸 $14_{-0.05}^0$ mm，具体粘接方法如下：

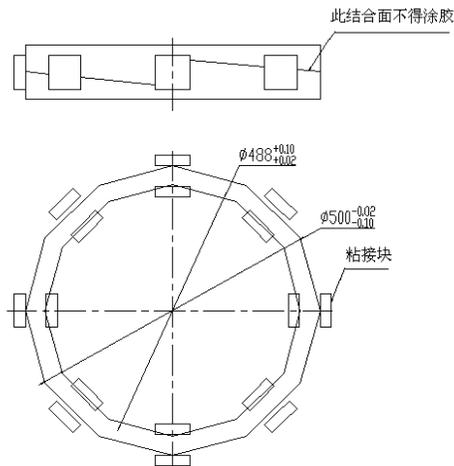


图8 粘接用示意图

卡环将卡环组件的上卡环、下卡环用蘸适量丙酮或乙酸乙酯的棉纱擦洗干净，用我所配制的胶粘胶按图8粘接成一体。注意上下卡环结合面不得涂胶，两补偿螺头最高点（最厚处）端面应以卡环螺头、螺尾中心对称，并靠紧指压片刻；打表找正，使卡环内外表面与底面垂直，即卡环轴心与底面垂直；用长10~15mm的块粘贴卡环的内、外表面，内、外表面分别

均匀粘接8~10块，要求粘接牢固。将粘接好的卡环组件水平放置于平台上，上面用压块加压，室温固化4h以上。

4.2.7 卡环的磨削

待卡环成组粘接、固化后，以卡环一面为基准，磨上平面，磨至螺头、螺尾对接处见光即可。调头，磨另一面，随机测量上、下卡环螺头处厚度，要求上、下卡环螺头尺寸应一致。此过程需要反复调头，均匀磨削，磨削时需保证卡环轴线与端面垂直，即加工时随机用百分表找正外圆相对磨床工作台的垂直度，必要时用塞尺对卡环进行垂直度补偿，确保垂直度不大于0.03mm，保证厚度 $14_{-0.05}^0$ mm，粗糙度 $1.6\mu\text{m}$ 。

4.2.8 卡环的线切割

将卡环组上线切割，找出螺头、螺尾对接处位置，线切割加工，保证卡环的最宽点13mm、最窄点1mm。

5 保管与运输

卡环加工成型后，成组用胶（布）带捆扎，转运；转运过程不得粘有水份和污垢；在运输与入库保管过程中，必须有防止变形、碰伤、压伤和腐蚀的措施。

6 结束语

通过实践应用证明，发动机用大直径卡环结构设计合理，安全可靠，可有效降低发动机质量，提高导弹的机动性能，降低了发动机的研制成本；大直径卡环加工工艺方法合理、可行，加工出的工件均满足使用要求，合格率达100%。此工艺方法已大量应用于多型号发动机卡环的加工，大大提高了生产效率，降低了生产成本，带来了很大的经济效益和社会效益。

参考文献

- 1 张耀寰，等. 机械加工工艺设计使用手册[M]. 北京：航空工业出版社，1993
- 2 运强，李保章. 实用车削操作技巧450例[M]. 北京：化学工业出版社，2006
- 3 陈日曜，等. 金属切削原理[M]. 北京：机械出版社，2002.1