

异型腔体密封结构研究

杨 月

(北京动力机械研究所, 北京 100074)



摘要: 为实现密封截面包含锐角的异型腔体的有效密封, 以发动机进气道密封试验为基础, 开展密封截面为矩形、三角形及梯形的腔体的密封结构研究。总结出对以上异型腔体密封效果稳定、操作简便的密封结构。

关键词: 异型腔体; 密封

Research on Seal Structure of Special Cavies

Yang Yue

(Beijing Power Machinery Institute, Beijing 100074)

Abstract: In order to achieve effective seal of abnormal cavity whose sealing section contains acute angle, based on sealing test of ramjet engine inlet, different sealing sections of cavity, such as rectangular, trilateral and trapezoidal shapes were experimented and researched. An effective, stable and easily-operated sealing structure for above section was summarized.

Key words: special cavies; seal

1 引言

在产品加工制造过程中, 对腔体进行静密封试验是一种常见的检验产品密封性及强度的工艺方法。对于密封截面为圆形的产品, 有成熟的密封结构和密封技术, 密封方法和密封材料也是呈现多样化, 密封圈、密封垫片、密封用胶料等。但对于异型腔体密封, 如密封截面包含锐角的腔体, 要对其进行重复性好、效果稳定的密封有一定的困难。为解决以上问题, 在对发动机进气道进行密封试验的基础上开展了异型腔体的密封结构研究, 总结出对异型腔体有效的密封结构。

2 进气道密封试验

2.1 密封试验要求及进气道结构特点

进气道为发动机的重要组成部分之一, 发动机装配后要求在进气道处密封, 进行压力为 (0.5 ± 0.1) MPa

的气密检查, 保压 5min。

进气道呈“M”型(见图 1, 其中上盖板未表示), 由左、右侧板, 下底板、上盖板及中心支板组成两个矩形通道。进气道唇口和上盖板采用钨渗铜(W7Cu)材料, 此材料较脆, 不能承受冲击力和大应力, 同时唇口部位零件比较尖锐, 尺寸较小, 给生产操作和密封结构设计造成较大困难。

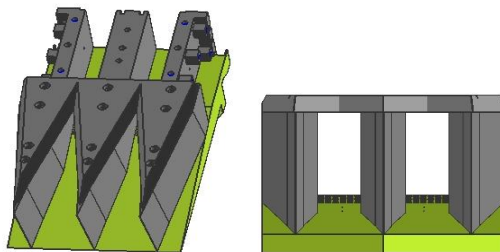


图 1 进气道结构示意图

2.2 密封结构研究

根据密封要求, 分别选择在矩形通道进口锥段和

作者简介: 杨月(1976-), 工程师, 机电一体化专业; 研究方向: 机械结构设计及先进制造技术。

收稿日期: 2013-12-24

等直段作为密封部位设计密封结构, 并开展相关研究。

方案一: 由图 1 可以看出, 通道进口处呈现出一定的锥度, 是逐渐缩小的形状。利用锥段进行密封, 模拟进气道形状设计密封结构, 密封结构芯部采用铝制材料, 四周粘贴橡胶板, 通过橡胶材料的变形来实现密封 (见图 2)。

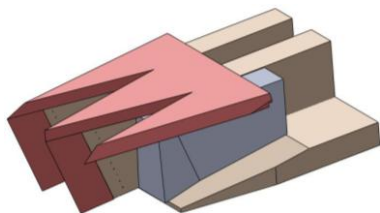


图 2 进气道密封方案一

试验表明该种密封结构可以实现对进气道矩形通道的密封, 但是密封的稳定性、可操作性不理想。原因是芯块上粘贴的橡胶板通过变形对矩形通道四个直角的填充能力有限, 虽然芯块带有一定的角度可以通过橡胶板的进一步压缩变形来起到密封作用, 但可靠性较差, 施力较大时还可能对进气道钨渗铜材料造成破坏, 故此方案存在缺陷。

方案二: 针对方案一的密封结构对进气道四个直角密封效果不理想的问题, 方案二改变了密封部位及密封件的形式, 将进气道后部等直段处作为密封位置, 设计了一种压胀式密封结构 (见图 3), 通过挤压四边形密封件, 使之膨胀密封住通道四个直角 (见图 4)。

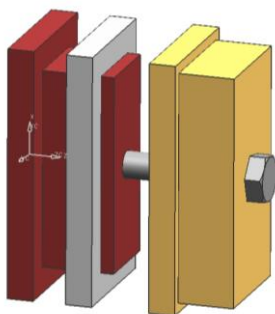


图 3 压胀式密封结构

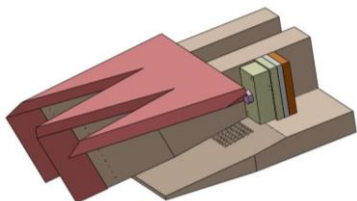


图 4 进气道密封方案二

对于压胀式密封结构中密封件材料的选用, 进行了一系列的试验对比, 首先使用普通橡胶板作为密封材料, 试验表明密封材料偏硬, 压缩量小, 密封面不够平整, 造成密封效果时好时坏。之后密封件由普通橡胶板和海绵橡胶板组合而成。试验表明, 普通橡胶板邵氏硬度偏硬, 压缩量不足, 但支撑效果较好, 海绵橡胶板较软, 不易控制形状但填充性好, 可以对直角部位进行有效地填充, 两者配合使用起到了很好的密封作用。这种结构使用方便, 可靠性高, 由于这种压胀式密封结构放置在通道末端即下底板上的通孔后面, 避免了对进气道前缘及唇口钨渗铜材料施力, 减少了破坏产品的可能性。

3 异型腔体密封结构研究

对密封截面为直角四边形的腔体进行密封由于首次尝试, 在最初进行密封试验时造成很大困扰, 在一定程度上影响了发动机气密试验进度, 进而影响了发动机的生产交付。为了避免类似情况的再次发生, 开展了异型腔体的密封研究工作。

通过进气道的密封结构设计及试验表明, 在密封截面中角度越小越难密封。为了掌握可有效密封的更小角度, 在矩形通道密封成功的基础上, 又进一步开展了角度包括 30° 、 45° 、 60° 、 75° 的异型腔体的密封研究。

3.1 异型腔体设计

通过计算, 我们设计了三角形截面型腔 (以下简称三角型腔), 梯形截面型腔 (以下简称梯型腔) 两种腔体, 均可承受 10MPa 的压力, 包含了 30° 、 45° 、 60° 、 75° 几种角度。

3.2 密封结构设计

在利用压胀结构对发动机进气道通道进行密封时, 曾经选用了普通的硅橡胶材料作为密封材料, 硬度在邵氏 40 以上, 压缩率小, 而且外形尺寸是现场切割出来的, 与通道尺寸有较大偏差, 不能起到有效密封的作用。而海绵橡胶板硬度虽然适合, 但加工很难保证形状规则, 与小于 90° 的型腔很难做到形状一致。

因此设计使用了邵氏硬度分别为 30、20、10, 厚度分别为 10mm 、 8mm 、 6mm 的硅橡胶密封垫, 采用模具压铸成型, 保证各个角度都能保持完整的锐边。考虑到安装及硅橡胶的压缩率, 密封垫与异型腔体内形尺寸间隙在单边 $0.1\sim 0.2\text{mm}$ 。

3.3 异型腔体密封试验

分别对三角型腔及梯型腔进行了气压试验，最大压力为 8MPa。型腔安装密封结构后放进水池内，通过保压及观察气泡的方式检查密封效果。装配情况见图 5，三角型腔体试验数据见表 1，梯型腔体试验数据见表 2。

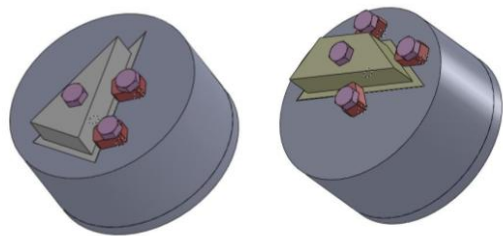


图 5 异型腔体密封试验装配示意图

表 1 三角型腔体试验数据

密封垫 (邵氏硬度/厚度/mm)	结论	三角型腔试验情况记录（保压 5min）		
		第一次试验	第二次试验	第三次试验
10/6	可行	△	★	★
10/8	可行	★	★	△
10/10	可行	★	★	★
20/6	可行	★	★	★
20/8	可行	★	★	★
20/10	可行	★	★	★
30/6	可行	★	△	★
30/8	可行	△	★	★
30/10	可行	△	★	△

注：★表示直至压力升至 8MPa 各角均无泄漏。△表示压力增加期间 30°角处有渗漏现象，增大压紧力后渗漏现象消失，直至 8MPa 各角无渗漏。

表 2 梯型腔体试验数据

密封垫 (邵氏硬度/厚度/mm)	结论	梯型腔试验情况记录（保压 5min）		
		第一次试验	第二次试验	第三次试验
10/6	可行	★	□	★
10/8	可行	★	★	★
10/10	可行	★	★	★
20/6	可行	★	★	★
20/8	可行	★	★	★
20/10	可行	★	★	★
30/6	可行	★	★	★
30/8	可行	★	★	★
30/10	可行	○	★	★

注：★表示直至压力升至 8MPa 各角均无泄漏。□表示压力增加期间 45°角处有渗漏现象，增大压紧力后渗漏现象消失，直至 8MPa 各角无渗漏。○

表示压力增加期间 60°角处有渗漏现象，增大压紧力后渗漏现象消失，直至 8MPa 各角无渗漏。

4 结束语

以发动机进气道密封试验为基础，通过计算及大量试验证明，采用压胀式密封结构、通过控制硅橡胶密封材料的硬度和厚度实现了异型腔体，尤其是密封截面含有 30°角以上角度的异型腔体的有效密封。对这种密封结构，我们总结出以下特点：

a. 由表 1、表 2 可以看出，30°角密封已较为困难。三角型腔密封试验中 6 次出现的泄漏点均为 30°角处。梯型腔密封试验中 2 次出现泄漏角度集中在 45°、60°。

b. 密封垫厚度及硬度对密封效果有直接影响。在试验中，厚度为 6mm、邵氏硬度为 10 的垫片，安装时尖角处容易发生变形及损坏，并且在压力为 1.5MPa 时出现切边现象，即垫片上有一圈压紧件的痕迹，有的部分已经被剥离。易出现泄漏情况。邵氏硬度 20 和 30 的垫片有压痕，但无严重剥离情况。硬度厚度越大的垫片相应需要的压紧力也越大才能充分胀开。邵氏硬度 20，厚度为 8mm 的密封件密封效果最好。

c. 综上所述，这种压胀式密封结构对含 30°以上角度的截面可以实现较有效密封。采用这种密封结构时，建议使用邵氏硬度 10~30，厚度大于 6mm 的硅橡胶密封垫。当试验压力小于 1.5MPa 时，可以使用邵氏硬度小于 20，厚度大于 8mm 的硅橡胶密封垫。

d. 为实现可靠密封，应控制密封垫与腔体的间隙，密封结构安装过程中需要注意避免对橡胶垫边缘及尖角的损坏。

e. 螺钉的拧紧力矩对密封也有较大影响，本文不再论述。

参考文献

1 徐灏. 机械设计手册. 机械工业出版社, 1991
2 成大先. 机械设计手册. 化学工业出版社, 2002
3 彭福泉, 黄晶, 等. 实用非金属手册. 吉林科学技术出版社, 1991