

常平座的设计与应用

陈守芳

(陕西动力机械设计研究所, 陕西 西安 710100)

摘 要: 通过对国内外常平座的发展历史及现状的分析研究, 结合常平座各部分的结构特征及应用要求从方案确定、材料选择、润滑、传力结构及不同结构的适用范围等方面给与了较全面的理论分析, 同时结合实际经验提出了各环节在设计、应用中所遇到问题的解决措施及建议。

关键词: 摇摆火箭发动机; 常平座; 设计及应用

中图分类号: V432

文献标识码: A

文章编号: (2004)05-0027-04

Design and Application of Gimbal Mount

Chen Shoufang

(Shaanxi Engine Design Institute, Xi'an 710100, China)

Abstract: A comprehensive theoretic analysis of gimbal mount design and application in the aspects of structure determination, material selection, lubrication, bearings and application of different structures are presented. Solutions for problems in gimbal mount design and application are proposed on base of practical experiences.

Key words: gimbaled rocket engine; gimbal mount; design and application

1 引言

自从二十世纪五十年代美国设计生产第一台常平座以来, 常平座的研发至今已有近五十年的历史。其间常平座演化的种类很多, 结构型式、轴承方案及润滑方案也很多。采用哪种组合方案, 决定于其具体的使用环境。例如, 针对某些已有型号发动机改型而设计的常平座, 设计时要考虑

以尽可能不改变已有发动机的结构和布局为原则, 这样的常平座其使用有局限性, 对其它发动机不一定适用。

航天技术的发展提出了发动机摇摆方案的要求, 由此诞生了常平座组件。材料技术、成型工艺水平和加工工艺水平的提高, 使得高温、高压条件下工作的摇摆软管的设计生产难题得以解决, 润滑及喷涂技术的发展对常平座轴承及润滑方案的不断改进起到了巨大的推动作用, 且使用

收稿日期: 2003-10-15; 修回日期: 2003-11-28。

作者简介: 陈守芳 (1970—), 工程师, 研究领域为液体火箭发动机总体设计。

维护越来越简便。另外,发动机的模块化设计要求推动了常平座的可移植性设计向前迈进了一大步。

2 常平座在我国的发展和使用情况

目前,我国常平座的结构型式主要是十字轴型,使用的轴承主要为固体润滑剂的滑动轴承。常平座的发展过程也就是其设计不断完善的过程,这从十字轴型常平座的发展可见一斑。最早的双摆十字轴型常平座用瓦盖固持十字轴,紧固件多、结构复杂、尺寸较大、质量也偏大,在其基础上研制的一字型单摆常平座向前跨了一大步。用热压配合的方法将轴装于轴套内,取代用瓦盖固持轴的方法,减少了一半紧固件,同时大大减轻了重量、减小了外廓尺寸。此后开发的双摆十字轴型常平座取得了新的突破,十字轴采用了一种全新的固持方法,即轴先装于轴承座内,轴承座再固定在底座上,减少了紧固件和法兰的重量,从性能上看,摆角增大了,但结构尺寸变小了,推重比增加了,功能得以大大增强。其结构示意图如图 1 所示。



图 1 十字轴常平座结构示意图

Fig.1 Cross-type gimbal mount

3 常平座的设计

常平座的设计不是孤立的,不仅要满足摆角和载荷的要求,还要它和发动机的其它零组件相

关联,即不仅要适应发动机的总装布局,反过来还要考虑它对发动机的总装布局的影响。从经济学的角度考虑,要求发动机总装布局的兼容性和继承性要好,即发动机的总装布局经过尽可能少的调整,就能满足不同的使用环境要求,而这种兼容性相对组合件来讲,就要求组合件在结构满足既定使用要求的基础上,还要有一定的可移植性。

常平座的设计可归结为轴的设计、轴承方案设计、润滑方案设计、传力结构方案设计几个方面。

3.1 轴的设计

对于十字轴型结构,常平座自带两对轴;对于环型结构,常平座自带一对轴,另一对轴安装在推力室上;而对于承窝型结构,不存在真正意义上的摇摆轴,通过相互配合的凸凹球面绕同一中心的相对运动来实现摇摆。

常平座的轴主要承受弯矩作用,设计时应主要从刚度、强度、耐磨性等方面来考虑。

常平座的摇摆轴承受的载荷较高,要求轴的强度要高;特别需要说明的是,轴的刚度至关重要。在发动机推力作用下,轴承受弯矩会产生挠度。对于滑动轴承,当轴端挠度大于轴承间隙时就会有卡死的危险。如通过增大轴承间隙来解决卡死问题,会导致轴与轴承接触角减小而增大轴承的比压力。要保证不会卡死,又要确保可能出现的最小间隙恒大于轴端变形量,间隙的选择应与轴的刚度相协调;对于滚动轴承,轴过量的永久变形会使轴承在工作过程中产生剧烈的振动和噪声,更为严重的情况会使内外圈相对歪斜,致使转动失灵。因此轴的变形量必须限制在尽可能小的范围内,变形量超过允许值,即使轴仍是弹性的,也不能正常工作从而失效。所以在结构允许的条件下应通过增大截面惯性矩和减小跨度的方法来提高刚度。

轴的设计还应考虑挤压问题。在推力作用下,轴与轴承之间在接触面上会产生挤压而且比压较高。为防止轴被压扁,或将轴承挤压变形,必须进行挤压强度校核。一般采用过轴直径的纵向截面作为挤压面积进行计算,计算结果接近图 2 所示挤压应力的最大值。

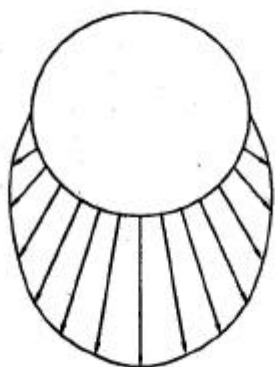


图2 轴与轴承座接触面挤压应力分布示意图

Fig.2 Stress distribution on shaft-bearing seat interface

3.2 轴承方案设计

轴承方案的设计选择要从以下几个方面考虑:

(1) 径向承载能力较高, 即轴承的比压力较高。所以承载能力强是轴承方案设计的决定性因素;

(2) 为简化结构, 减轻质量, 尽量不使用组合轴承;

(3) 摩擦系数小。无论采用哪种轴承方案, 都应满足发动机在推力作用下摇摆时控制系统执行机构所允许的摩擦力矩的要求;

(4) 对轴的刚度不敏感;

(5) 较好的环境适应性, 适用于恶劣的工作环境;

(6) 储存期间维护简单;

(7) 总工作时间虽短, 只有几分钟, 但做往复摆动, 摆角、角速度、角加速度都是随机变量, 可能出现较大的值。

满足以上要求的轴承主要有柱面滑动轴承、调心滚子轴承、关节轴承。

柱面滑动轴承的轴向、径向承载能力都很高, 真空工作能力好、结构尺寸小、但摩擦系数大, 对轴的刚度敏感。这些不足可以通过选材和结构设计弥补。

调心滚子轴承的径向承载能力高、摩擦系数小、对轴的刚度不敏感, 但结构尺寸较大, 环境适应性差, 在空间结构允许的情况下, 可通过采取适当措施来弥补其不足, 改善其使用性能。

关节轴承的径向承载能力高, 对轴的刚度能

实现自位补偿、结构尺寸小, 但摩擦系数大。

具体的轴承方案要结合具体使用要求和生产加工水平确定。

3.3 润滑方案设计

常平座用润滑剂的选用要考虑其高负荷的工作环境和对润滑剂的使用维护不便的特点。

常平座用滑动轴承和关节轴承具有极高的轴承比压力, 几乎所有的润滑油(脂)都会从润滑面排挤出去, 无法形成润滑膜, 这使工作中的摆动副的金属产生胶合现象并引起振动, 故需选用磨损寿命和真空性能满足要求的固体润滑剂。

对于滚动轴承要综合考虑以下三方面来选取合适的润滑剂。一是轴承的工作温度, 过高的温度会使润滑剂粘度降低, 润滑效果差, 所以工作温度越高, 选取的润滑剂的粘度应越大; 二是轴承承受的载荷, 负荷增大使润滑区域压力增加, 粘度降低, 从而导致润滑膜厚度减薄, 润滑效果差, 所以工作负荷越大, 选取的润滑剂粘度应越大; 三是转速, 摆角、角速度、角加速度都是随机变量, 因而可能出现较大的值。转速越高, 内部摩擦产生热量就越大, 要求选取的润滑剂的润滑性能和散热性能应越好。

3.4 传力结构方案设计

常平座结构方案的选取要从发动机的允许高度考虑。对于十字轴型或承窝型结构, 虽然其质心偏高, 但常平座传力结构简单、受力情况好, 而且能够不影响其它组件的布局、减小发动机径向尺寸、可移植性强, 所以在发动机高度允许的情况下应是优先选取的方案。对于环型结构, 虽然发动机的摆心降低了, 但对推力室的强度要求却提高了, 而且影响其它组件的布局、增大发动机径向尺寸、可移植性较差, 传力结构设计难度也较大, 所以只适合在发动机高度受到严格限制的情况下使用。

传力结构设计主要从刚度、强度、结构质量、外廓尺寸等方面综合考虑。根据发动机的不同使用环境, 首先确定常平座与推力室及机架的连接方式、连接位置。主要原因是:

(1) 对于一定箭(弹)径的箭(弹)体和一定外廓尺寸的发动机, 摆心的位置即常平座摇摆轴的位置决定了发动机在箭体内允许的摆动角度,

这个角度反过来又决定了飞行时箭体的推力矢量可调控范围;

(2) 常平座摆心相对于发动机质心的位置,影响着发动机摇摆时需伺服机构提供力矩的大小;

(3) 应满足重量轻、开敞性好,使用维护性好的要求。

常平座的结构形式要适应发动机总装布局,同时尽可能弥补总装布局的不足。发动机质量分布的均匀性及质心的位置直接影响发动机的摇摆情况。发动机系统很复杂,要使它的质量均匀对称的分布是不太现实的,可以通过合理地选择常平座摇摆轴的位置在一定程度上来弥补。摇摆轴的位置是与常平座与推力室的连接方式直接相关的。摇摆轴可以放在推力室身部,质心相对较低,但影响发动机的径向尺寸;也可以放在推力室头部,这种结构体积小、质量轻,但摆心位置偏高。

常平座与机架或箭体对接方式选择点对接还是面对接,直接影响着常平座的基本传力结构,原因如下:

(1) 推力是通过常平座和机架传递到弹体上的,火箭或导弹总体设计对发动机推力向量在空间作用于箭体或弹体位置和方向有多方面的限制和要求;

(2) 从发动机总体方案的选择上讲,为简化发动机的结构和改善装配工艺,不设计装配调节环节,而采用提高各装配环节加工精度的方法来保证火箭总体设计要求;

(3) 如常平座设计方案是不能自位的,又不能调节轴承,对轴承间隙的要求就非常严格,要采用配合加工的方法来制造。

常平座传力结构在允许的情况下尽可能采用杆架结构。这种结构受力情况好,所用材料能得到最大限度的利用,质量轻。另外,杆架结构开敞性好,能充分利用有限空间,对其它组合件影响不大,生产加工方便,对发动机的兼容性设计及减小外廓尺寸也有一定益处。

3.5 材料的选择

常平座的质量要尽可能小,而传递推力又很大,所以要选择高强度材料。由于常平座的特殊功用和安装位置,可能会出现形状较复杂的型面,所以要求材料的机加工性能、焊接性能要好。对

于轴,要选择刚度高的材料,这有助于减小轴承间隙,减小接触应力,改善轴承的强度条件,提高轴承工作的可靠性。

3.6 计算和实验

上面只提及了常平座设计过程中可能遇到的共性问题,每个常平座都是为满足一定的使用要求而设计的,都有其个性,因此仿真计算和实验也是必不可少的手段和程序。

仿真计算在设计研究中的地位很重要,是正确设计和缩短研制周期的保证。首先制作常平座三维模型,根据实际工作进行受力分析,确定理论上合理的边界条件,然后选取合适的数学模型,运用有限元法进行计算,根据计算结果对模型进行改进和完善,直至理论上综合技术指标满足要求为止。

仿真计算虽然在理论上确定了一个模型,但在计算过程中许多条件及参数都是理想化的,计算过程、计算方法也有一定的误差积累,所以要检验计算方法是否正确、设计是否合理还要通过模拟真实工作环境进行实验。比如轴承的磨损情况、承载能力、摩擦力矩、寿命等均需通过试验来确定。

4 结束语

随着航天技术的不断发展,对航天器的姿态控制精度和经济性的要求不断提高,满足各种飞行任务要求,提高兼容性已成为液体火箭发动机发展的主要方向之一。对常平座来说,不仅仅要降低单位成本,还要增强其可移植性,从而适应新型发动机的研制和已有发动机的改型要求。

参考文献:

- [1] 徐灏主编,机械设计手册(卷4)[M],北京:机械工业出版社,1991.
- [2] 刘鸿文著,材料力学(上)[M],北京:高等教育出版社,1991.

(编辑:陈红霞)