

小推力发动机试车架设计

■ 湖北三江航天江河化工科技有限公司（远安 444299） 鲁华丽 杨理国

摘要：本文通过对某小推力发动机立式试车架设计的主要内容及关键点进行分析，从总体结构、静架体、推力传递组件和支撑组件设计几个方面进行详述，并通过强度校核及试车结果说明该设计方法满足试车要求。



机加分厂非标设计及加工工艺师 鲁华丽

发动机试车用于验证其设计是否合理，考核和检验发动机各种性能。试车架是将发动机按照试验状态固定的一种试验设备，承受发动机及其附件的全部质量及各向推力。某小推力发动机试车采用立式试车方式，试车时，发动机头部朝上，径向固定、轴向传递推力。试车时如何确保发动机固定及推力传递是试车架的主要设计内容。

1. 关键点分析

(1) 发动机支撑固定方式。试车架一方面要考虑发动机轴向上的正确定位和联接，另一方面要考虑发动机受反推力会产生

位移，轴向要求可自由伸缩。

(2) 轴向推力传递方式。为保证轴向推力对中传递，主要考虑发动机头部、测力元件和试车架之间的转接。

(3) 试车架结构刚性及动态稳定性。试车时试车架主要承受发动机及其附件的全部质量、主推力和侧向力，因此要具有足够的刚性；考虑到试车过程会产生振动，因此试车架应具有一定的动态稳定性以降低振动频率，保证试验精度及安全性。

2. 总体设计

针对设计关键点，某小推力发动机试车架结构如图1所示。试车架主要由静架体、推力传递组件、支撑组件和动架组成。

静架体设计为整体框架式结构，实现发动机轴向和径向固定连接，发动机通过推力传递组件实现轴向固定，但仅靠螺栓联接其螺纹强度有些薄弱，因此增加径向支撑组件辅助支撑并实现轴向对中调节；采用直线导轨组件作为动架实现发动机在轴向的位移运动，并增设限位装置进行试车前的安装调节及定位。试车架

结构根据精度要求尽量采用整体或组焊结构，减少元件联接即减少联接振动源，以保证结构的动态稳定性。

3. 静架体

立式试车，发动机自重方向在轴向，考虑发动机头部朝上、底部地面留有导流深坑无法做支撑基础，发动机支撑采用头部联接为主、径向支撑为辅的方式。发动机试车振动大、侧向力大，采用径向对称支撑能更好地增加支撑刚性及轴向对中性。因此静架体设计为框架式结构，采用方钢组焊；头部因承受主推力而设计为方敦结构，通过筋板加强与框架体的联接。考虑到整体框架结构全封闭，内部各组件的安装很难实现，因此预留一面空白空间便于试车架安装调节。静架体结构如图2所示。

静架体作为主承力部件，必须对其进行强度校核。

(1) 推力墙弯曲应力计算。根据结构受力情况，将推力墙简化为空心矩形截面长方体（见图3），两边固定、中间受集中载荷梁模型（见图4），按照下式计算

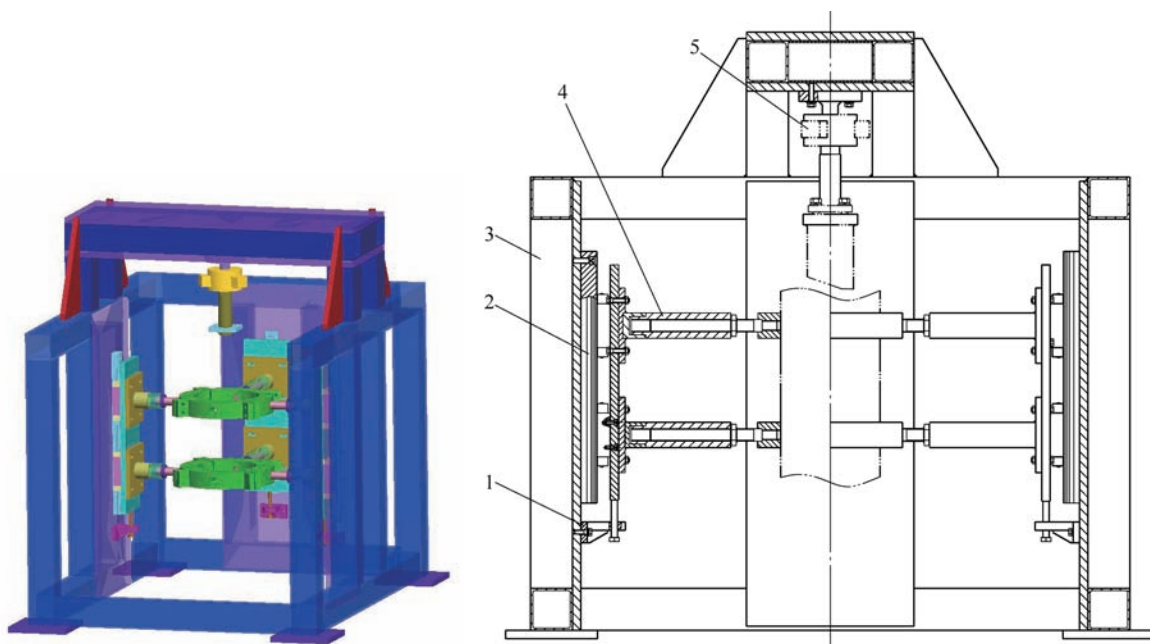


图1 试车架结构

1.限位装置 2.直线导轨 3.静架体 4.支撑组件 5.推力传递组件

推力墙最大弯曲应力

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{W} = \frac{PL/4}{(H-h)b^2/6} \times 10^3$$

$$= 38.66 \text{ MPa}$$

式中, $M_{\max}$ 为最大弯矩; W 为抗弯截面系数; P 为推力, 按3倍系数计算, 即为150kN; L 为推力架总长, 此处为1 100mm; H 为推力架厚度, 此处为140mm; h 为空心厚度, 此处为100mm; b 为推力架宽度, 此处为400mm。

推力墙最大弯曲应力为39.66MPa, 远小于20钢的许用弯

曲应力246MPa, 强度满足设计要求。但因推力墙组焊在静架本体, 其焊接质量直接影响到推力墙受力情况, 因此要进行焊缝计算。

(2) 焊缝计算。推力墙与框架组焊位置为受力薄弱位置, 焊缝受拉为主要破坏形式: 立柱截面焊缝受拉伸、筋板短边焊缝受拉伸、长边焊缝受剪切。比较得出每根立柱的截面焊缝、筋板短边焊缝为危险点。因此, 对这两处焊缝按下式进行可承受拉力计算

$$N_{\text{立}} = \frac{\delta l h k}{1.414} = 1\,336 \text{ kN}$$

$$N_{\text{筋}} = \frac{\delta l h k}{1.414} = 668 \text{ kN}$$

式中, δ 为材料需用应力, 此处为410MPa; l 为总长度, 其中立柱焊缝总长1 600mm, 筋板焊缝总长800mm; h 为焊高, 此处为6mm; k 为角焊焊缝系数, 此处为0.6。

危险点焊缝可承受拉力远大于3倍推力, 满足强度设计要求。

(3) 整体结构受力分析。鉴于静架体预留一面空白空间, 破坏了整体结构刚性, 通过ANSYS进行受力分析, 校核静架体强度, 分析结果如图5所示。静架体所受最大应力120MPa, 远小于材料许用应力410MPa, 强度满足试车要求。

4. 推力传递组件

推力传递组件主要针对静架体、测力元件和发动机头部结构进行转接设计, 如图6所示, 由

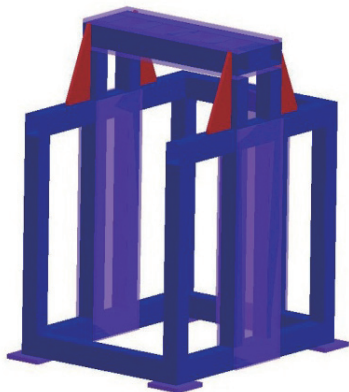


图2 静架体示意

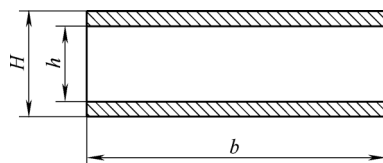


图3 截面简化图

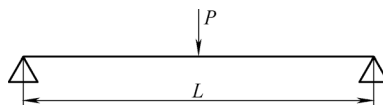


图4 模型简化图

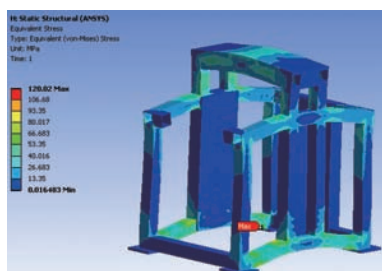


图5 静架体受力分析

承力板、测力元件和推力联接段组成。其中，为使得轴向对中可调，其承力板与推力墙联接孔位设计为长条形结构。

5. 支撑组件

支撑组件采用调节卡箍结构对发动机进行径向定位固定（见图7），卡箍以内圆弧面定位发动机，为避免发动机径向卡箍预紧过大或空作用，通常发动机支撑角度 $\alpha \leq 100^\circ$ ，因此卡箍采用分瓣结构，每件分瓣两侧采用螺栓联接。

为弥补试车架加工偏差，保证发动机装配时轴向对中，卡箍必须可实现轴心调节操作，因此卡箍支撑部位设计为螺杆结构，通过螺纹调节找正发动机轴心，螺母锁紧。此时静架体与支撑点位置可能有所偏差，再利用支座底部长条孔结构调节改位置偏差即可。因为静架有一个方向空白，这里对应有一个方向只有卡

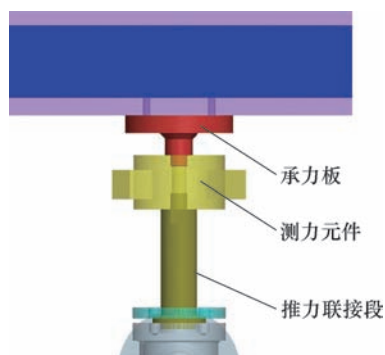


图6 推力传递组件结构示意图

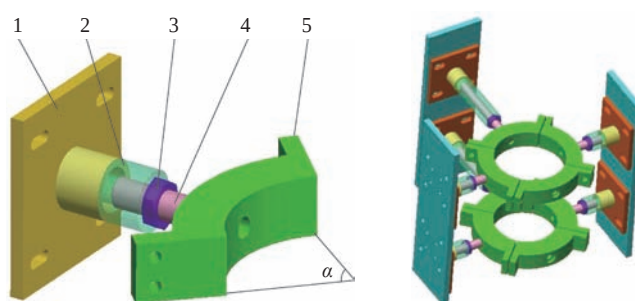


图7 支撑组件结构示意图

1.支座 2.螺套 3.锁紧螺母 4.调节螺杆 5.卡箍

箍而无支撑，起辅助联接作用。

架的设计提供可靠的技术参考。

6. 结语

该试车架投入批产点火试车，试车过程顺利，满足试车过程要求。其结果表明，本文介绍的试车架承力结构、支撑结构、推力传递结构、结构刚性设计及计算等关键技术，能够满足试车要求，可以为小推力发动机试车

参考文献：

- [1] 薛群，徐向东. 固体火箭发动机测试与试验技术[M]. 北京：中国宇航出版社，1994.
- [2] 机械设计手册编委会. 机械设计手册[M]. 北京：机械工业出版社，2004.

MW（收稿日期：20171025）

工业和信息化部苗圩部长解读十九大报告：把发展经济的着力点放在实体经济上（摘要）

党的十九大报告指出，建设现代化经济体系，必须把发展经济的着力点放在实体经济上，把提高供给体系质量作为主攻方向，显著增强我国经济质量优势。制造业是实体经济的主体，是技术创新的主战场，是供给侧结构性改革的重要领域。我们要深刻领会习近平总书记关于发展实体经济特别是先进制造业的战略思想，按照党的十九大报告的总体要求和战略部署，加快制造强国建设步伐，推动实现经济发展由数量和规模扩张向质量和效益提升转变。

（1）深刻认识实体经济发展环境新变化。①制造业重新成为全球经济竞争的焦点。②新工业革命对制造业发展带来深刻变革。③我国制造业加快提质升级日益紧迫。

（2）加快建设制造强国。①培育壮大新兴产业，推动重点领域率先突破。②优化升级传统产业，促进全产业链整体跃升。③加快发展现代服务业，促进制造与服务协同发展。④加快发展现代服务业，促进制造与服务协同发展。⑤培育世界级先进制造业集群，促进大中小企业融通发展。

（3）优化实体经济特别是制造业发展环境。①切实降低实体经济企业成本。②着力构建国家制造业创新体系。③强化财税金融支持制造业发展。④加快建设多层次制造业人才队伍。⑤开拓新一轮制造业对外开放新格局。