

流量调节器研制的全过程质量控制

王 昕, 王福民

(西安航天动力研究所, 陕西 西安 710100)

摘 要: 围绕流量调节器研制过程, 以确保和提高流量调节器工作可靠性为目标, 阐述了在设计、制造以及试验中保证调节器质量的控制措施。通过设计人员全程跟踪、反馈和改进, 形成了完整的全过程闭环动态控制流程。这些措施的可行性、有效性在试车中得到考核。调节器的研制过程是一个不断改进和完善的动态过程, 其控制流程可以为今后其它产品型号研制过程中的质量控制提供参考。

关键词: 流量调节器; 质量; 控制

中图分类号: V434

文献标识码: A

文章编号: (2007) 02-0048-05

Overall quality control of the flow regulator development process

Wang Xin, Wang Fumin

(Xi'an Aerospace Propulsion Institute, Xi'an 710100, China)

Abstract: This paper introduces the control measures to guarantee the quality of design, manufacture and test in the development process of a flowrate regulator. The purpose of the subject is to establish a proper design and production process and improve the design and test procedure and working reliability of the regulator. A strictly dynamic closed loop processing control flow chart was formed by means of global tracing, customer feedback and product improvement. Feasibility and availability of the measures were testified in the trial run. Overall quality control flow chart derived from the flow regulator practice can serve as a guarantee reference for the development of other products.

Key words: flow regulator; quality; control

收稿日期: 2006-08-18; 修回日期: 2006-11-23。

作者简介: 王昕 (1973—), 男, 工程师, 硕士, 研究领域为液体火箭发动机自动器设计与制造。

1 引言

火箭发动机利用推进剂供应系统中的流量调节器(以下简称调节器)控制混合比,达到稳定和调节推力的目的。调节器的动、静态特性对发动机的性能精度、起动品质和工作稳定性有不可忽视的影响。在整个研制过程中,设计人员全面参与调节器设计、制造、试验直至试车的各个环节,实时制定和调整质量控制策略,监督和检查控制措施的实施和效果,及时发现和解决质量问题和隐患,形成了对调节器质量的全过程动态闭环控制,使调节器的可靠性逐步提高,性能质量渐趋稳定,确保了发动机研制的顺利进行。

2 设计质量控制

设计质量是决定调节器固有特性和可靠性的首要环节。调节器的设计过程是一个不断发现问题和不断改进、反复交织的动态过程。随着研制的深入进行,调节器的研制任务逐渐由实现基本功能过渡到可靠性增长,设计质量的控制措施也随之变化。设计环节上运用的一系列质量控制措施,不但使调节器性能和可靠性得到了优化和提高,也为后继产品制造和试验奠定了质量控制的方向和基础。

2.1 以实现基本功能为目标的设计质量控制

在研制初期,设计任务以实现调节器基本功能为目标,对性能和结构进行设计。为保证设计质量,主要采取了以下措施:

2.1.1 多方案论证

多方案论证是航天型号设计阶段普遍采用的方法,不但可以拓宽选择范围,还可以从多角度评估系统参数、设计方法的合理性,加深对设计理论的认识,为最终方案的参数优化提供条件,保证方案质量。调节器的最初设计方案多达5个,随着系统参数的优化和试验、试车的验证考核,这些方案相互借鉴,取长补短,优化后得到最终方案。事实证明目前应用的方案较初期性能和可靠性都有提高。

2.1.2 仿真与试验结合

利用仿真数学模型对调节器静、动态特性进行深入研究,同时针对其不同功能对特性的要求,进行了阀芯、滑阀流量特性、间隙泄漏特性、密封胶圈相容性等试验研究,获得了较为准确的特性参数。利用这些参数修正仿真数学模型,提高了模型的仿真程度,为深入认识调节器特性、优化性能提供了基础和手段。

2.1.3 提高工艺性、经济性和可靠性

设计阶段通过采用尽可能多的成熟技术来保证方案的工艺性、经济性和可靠性,随着系统的优化,对成熟技术适当创新,保证原有三性的同时,提高了性能。调节器的阀芯形面最初采用多段折线形式,当设计人员充分了解了阀芯的加工和检测工艺后,将阀芯形面改为二次曲线,使调节器流量特性的线性度达到0.999以上,提高了性能。通过试验修正的阀芯形面计算方法可以快速获得满足系统各类流量要求的阀芯形面。

2.2 以可靠性增长为目标的设计质量控制

在调节器基本性能满足设计要求后。针对使用中暴露的“负差率”特性,活塞存在“自行程”等薄弱环节展开了以提高可靠性为中心任务的研制工作,设计环节采取了相应措施来实现调节器的可靠性增长

2.2.1 可靠性分析

通过故障模式、影响及危害性分析(FMEA)找出影响可靠性的主要因素,有针对性采取了控制多余物,提高滑阀刚度,增加弹簧复位载荷等措施消除故障隐患;针对试车和试验中出现的问题,组织专家对结构和性能进行了复核复算,采纳了如合理设计流道,消除负差率,减小活塞自行程等多项改进建议。根据上述分析反馈的结果,调节器的改进做到了有的放矢,提高了改进效果。

2.2.2 预先故障研究

在调节器故障分析的基础上,利用模拟发动机真实系统的冷调试验平台,对多台产品反复、多次试验,通过模拟实际工作状态寻找故障隐患;设计试验件,利用试验平台,人为模拟滑阀、活塞卡滞等故障模式,预先进行故障分析,

提高了对故障模式和危害程度的认知水平。利用冷调试验,确认了某次试车失败的故障原因,在后续研制中通过有效预防,此类故障再未发生。

2.2.3 全程监控关键环节

根据调节器特性分析,确定提高调节器可靠性的关键是保证滑阀动作灵活和活塞复位可靠。通过严格控制运动件配合间隙,提高弹簧复位载荷等措施来重点预防,并在结构上设置了滑阀压降和转级控制腔压力测点,为试验和试车中监测滑阀和活塞工作情况提供了手段和分析依据。

3 制造质量控制

保证调节器的制造质量,可以有效将设计质量固化到真实产品中。制造过程中采取的质量控制措施,减小了设备和人为因素对调节器性能的影响,保证了每台调节器性能质量的均匀性、稳定性和可靠性。

控制制造质量,主要有以下措施:

(1) 严格执行航天产品生产管理的各项制度,严格落实产品检验制度。这些规章制度是航天产品研制经验归纳总结的成果,对保证调节器制造质量,同样适用有效;

(2) 从细节控制质量。根据调节器的工作特点,从预防多余物,保证运动灵活性和密封性要求出发,着眼细节,控制质量;

(3) 重点控制关键零件的关键参数。调节器中相对运动件的配合状态决定了其性能优劣。装配中不但要重点检查,还要详细记录。这些记录对调节器特性深入研究、故障分析、合理设置超差限以及今后批质量控制都相当重要。目前调节器中的配合间隙就是根据记录统计确定的。这个关键参数既不增加加工难度,又可以保证配合质量,其有效性已经过多次试验和试车考核;

(4) 重视技术交流,实现全员控制,保证制造质量。设计人员加强与工艺、工人和检验人员的技术交流,提高相关人员对调节器制造中主要零件、工序和检验参数的认识和重视程度,强化了操作人员的质量意识,实现制造环节的全员控制,利于及时发现问题,确保制造质量;设计人

员根据生产过程反馈的问题,改进结构,优化设计,降低产品制造的工艺难度和成本,减小制造环节对质量的影响。

4 试验质量控制

试验是验证和考核调节器设计和制造质量的关键环节。通过试验及时发现调节器的性能缺陷,借助各种针对性的专项试验,可以评估调节器动态特性和检验各种改进措施的有效性。试验既是质量控制的检验平台,也是提供质量分析数据的信息库,它是全过程闭环控制中最重要的枢纽环节。

每台调节器都必须经过静态试验考核。在静态试验考核基础上,针对调节器动态工作特点,模拟发动机的真实系统,构建了动态冷调试验,对调节器进行动态特性考核。调节器经过至少连续3次冷调试验,参数无异常变化,方可交付试车。冷调试验的引入,有效避免了调节器静特性检查方面的不足,该试验已经成为试车前后检查调节器质量及故障分析的重要手段。经冷调试验考核的调节器,质量的可信度大大提高了,在已参加的试车中未出现引起试车故障的问题。

为保证试验质量,试验前应确认所用的仪器、仪表都满足精度要求,具备有效预防多余物的措施。试验后及时处理,维护系统,确保系统持续有效。

试验后,尤其是冷调试验后的处理也是保证调节器质量的重要环节之一。调节器在试验后清洗,置换,预烘干,最后采用真空呼吸法,在高温下长时间烘干,确保试验后残留水份最少。

5 质量控制流程和效果

图1给出了调节器质量控制完整的全程闭环控制流程:以设计环节为质量控制起点和反馈终点,试车考核为控制终点,在强调各个环节相对独立的控制措施基础上,设计人员通过参与产品的装配、试验和试车,发现质量隐患和设计问题,避免了将调节器的质量问题带入发动机试

车，利用仿真和试验验证改进措施，实现产品性能稳定和可靠性增长。按照上述控制流程，目前发动机使用的调节器采纳并落实的改进措施近 10 项，这些措施的有效性和可行性在多次长程试车

考核中得到了充分验证。表 1 列出了控制和改进调节器质量的主要措施及效果。

6 结束语

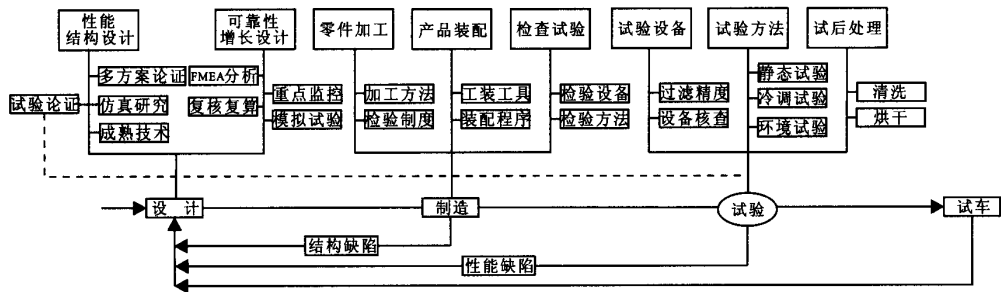


图 1 调节器研制的全过程质量控制流程图

Fig.1 Flow chart of overall quality control of the flow regulator development process

表 1 调节器质量控制措施及效果

Tab.1 Measures and effects of the flow regulator control

问题	发现环节	原因分析	改进或控制措施	效果
起动流量异常	冷调试验	活塞在起动前未复位，导致流量异常。	1 消除活塞“自行程”； 2 增大弹簧的复位载荷； 3 在转级控制腔增加压力测点，监控活塞运动。	试车中未出现起动流量异常。
活塞在系统低压下打开	冷调试验、设计计算	弹簧安装载荷偏小，在控制口与入口相通条件下，压力高于 0.3MPa 时会出现打开动作。	1 提高弹簧安装载荷； 2 严格控制试车入口压力参数。	试车及试验中未出现故障。
试验点进回程数据偏差大	静态特性试验	滑阀配合间隙不均匀，局部超差	1 装配前在全尺寸段检查配合间隙； 2 提高滑阀刚度，提高抗变形能力。	进回程试验数据符合要求。
负载特性出现负载率	静态特性试验	滑阀附近液动力偏大，影响性能。	1 仿真分析液动力的影响； 2 计算结构参数对“差率”的影响规律。 3 提高弹簧刚度，抵消液动力影响。	消除了负载率。
橡胶 O 形圈“碎裂”	试车后分解检查	试验后残留水份在温度、压力等作用下造成破坏。	1 烘干前用酒精进行多次置换； 2 自动烘干系统替代人工操作，减小人为影响，保证温度、真空度等控制参数。	未再出现橡胶 O 形圈破坏现象。
其它	加工、装配、试验过程	零件超差、装配干涉、零件工艺性差、检测困难等。	1 统计超差，合理设置超差限； 2 改进零件，适度降低工艺难度。	实现一回合装配，一回合试验交付。

发动机研制反复改进的特点和调节器对发动机性能的关键作用, 决定了调节器的研制过程是一个不断改进和完善的动态过程, 与之相适应的质量控制过程也必然是一个实时调整的过程, 确保这一动态过程收敛的措施就是实现全过程质量的闭环控制。整个控制流程中, 设计人员作为技术载体, 是串联、反馈和控制的关键环节, 体现了技术在控制产品质量中的重要作用。在不断改进和完善调节器研制过程中, 设计人员对调节器设计技术的认识也不断深入, 反过来又进一步指导了研制工作, 这一技术认识过程的动态闭环, 保证了调节器质量的稳步提升。本文根据发动机系统对调节器性能和可靠性的要求从研制过程中归纳的质量控制流程, 保证了调节器的交付质

量, 其有效性经过了多次试车考核。随着研制进展, 调节器研制的质量控制工作也必然随之日趋完善, 质量控制过程中获得的经验也为今后其它型号产品的研制提供参考和借鉴。

参考文献:

- [1] 李伟民. 液氧/煤油发动机试验起动过程推进剂供应技术[J]. 火箭推进, 2006, 3.
- [2] 王海燕, 刘红军. 液体火箭发动机性能可靠性的随机仿真方法[J]. 火箭推进, 2006, 4.

(编辑: 王建喜)

(上接第 19 页)

液氧主阀的常温气密检查及打开压力经测量全部满足要求, 但低温液氮试验的泄漏量超出规定值, 分析认为, 造成此原因主要因为阀座的加工质量未满足图样要求, 因发生器热试前氧系统的预冷是在低压下进行, 发生器上吹除路处于弱吹状态, 当预冷温度达到要求后, 开始进行加压预冷, 这时发生器上吹除路开始强吹, 泄漏进发生器的液氧在吹除气体的吹除下不会使发生器温度下降, 且热试开始时是液氧先进入发生器, 故本次产品的泄漏量对发生器热试不会造成影响, 可以用于发生器热试。

液氧主阀随后在发生器两次地面热试中, 按照指令均正常打开、关闭, 动作准确, 工作正常, 圆满完成热试任务。

6 结论

根据发生器地面热试要求所设计的液氧主

阀, 虽然低温下阀座处泄漏量超出设计要求, 通过分析认为该处泄漏对发生器热试影响不大, 通过验收试验及热试的考核, 证明其方案及设计满足发生器地面热试的要求。

参考文献:

- [1] 章华友, 晏泽荣, 陈元芳, 等. 球阀设计与选用[M]. 北京: 北京科学技术出版社, 1994.
- [2] 濮良贵. 机械设计 [M]. 北京: 高等教育出版社, 1990.
- [3] 罗军. 低温阀门性能检查试验 [D]. 西安: 西安航天动力研究所, 2001.
- [4] 郑德馨, 袁秀玲. 低温工质热物理性质表和图 [M]. 北京: 机械工业出版社.
- [5] 尤裕荣, 曾维亮. 逆向卸荷式气体减压阀的动态特性仿真 [J]. 火箭推进, 2006, 3.

(编辑: 马 杰)