

# 运载火箭测试中的多余物控制分析

张维 唐星云 许可 张威 孙鸣鹤

(首都航天机械有限公司)

**摘要:** 阐述运载火箭多余物操控的重要性,分析了火箭在不同测验阶段多余物发生的首要形式、诱因和表现形式,总结了目前我国火箭测验过程中多余物防备、操控和自动检测办法,并提出进一步的研讨方向,为未来运载火箭多余物操控技术发展提供了很好的参考。

**关键词:** 运载火箭; 多余物; 控制

## 引言

运载火箭作为航天器出产环节较多,工艺杂乱,对质量要求极高。多余物尽管微小,却是影响运载火箭质量的重要因素之一,可导致产品丧失其规定的功用,形成运载火箭产品故障或失效。多余物问题一直是航天电子设备可靠性范畴的一大难题。在航天控制器中,常见的多余物主要有导线皮、金属屑、焊锡渣、芯片壳和硅胶渣等。在航天控制器的出产、加工、装配、运送和调试等每一个环节均有或许引入多余物遗留在航天控制器中的多余物或许被物理捆绑,也或许被卡死在航天控制器的某个部分。

### 1. 测试多余物现状

多余物是指产品中存在的与产品规则状况无关的全部物质。多余物既有正常视力能够看得见的,也有需求凭借扩大东西才干观察到的,为火箭出产过程中多余物存在模式及表现形式如表1示,实际情况还要杂乱得多。

表1 火箭测试多余物模式及其诱因和表现形式

序号	模式	诱发因素	主要表现形式
1	遗留物	操作不当、管理不严格	辅料、工具、纽扣、香烟等
2	加工方法	焊接、布线、装配、连接等	金属屑、导线头、套管等
3	腐蚀	腐蚀介质	表面、漆层脱落等
4	断裂	插头插接过程剪切、应力等	插头表面开裂、剥落、插针折弯等
5	磨损	加电测试中相对运动、摩擦等	表面剥落、掉粒、金属掉块、咬死等
6	能量污染	电流腐蚀、吸附磁性屑、热能释放、射线损伤等	静电作用、摩屑引起磨损、油液变质、性能变化等
7	自然物	环境变化	生物、非生物

火箭整个“生命”进程共阅历3个测验阶段:单元测验、出厂测验、发射场测验。而每个阶段多余物资生机理及存在方式有所差异。

#### 1.1 单元测试过程多余物的种类

单元测验即为一火箭上仪器及部段在总装前的测验,首要是对单机仪器内部及部段的功能检测。因为单元测验是仪器部段加工后的开始测验,因而其多余物首要包含加工方法残留物及动力污染,其中加工多余物占54%,动力多余物占22%,留传物占20%,其他多余物占4%,这些多余物极易造成产品电气功能的丢失,严重影响后续总装测验作业,因而操作过程中要进行严厉的防控。

#### 1.2 靶场测试过程多余物的种类

火箭靶场测验是产品进入发射状况最终也是最全面的一次性能查验,是联系飞翔测验成败的决定性过程。靶场测验阶段各种形式的留传物污染得到有效操控,但由于发射场与总装厂环境条件变化,自然物成为(特别是导电颗粒、飞虫、冷凝水)影响产品可靠性的重要因素,自然物占66%,能源多余物占14%,留传物占14%,其他多余物占6%。

### 2. 多余物检测控制方法

#### 2.1 测试过程中多余物常规检测控制方法

1)测验前,除了惯例的办理查看如人员穿戴、测验场所、测验环境的操控防备外,操控多余物的要点就在产品接纳查看时,对仪器电缆插头、插座以及舱体的查看。此刻多借助光学显微镜及工业内窥镜等使用口检法、听检法等惯例办法查看插头(座)内有无因“加工办法、腐蚀、开裂”形式下所发生多余物。

2)测验中,为了保证火箭全体电气系统的安全性,在地面设备加电后,通过专门的漏电检测电路,进行“实时漏电监测”,来调查产品是否因“磨损和动力

污染”形式而或许发生多余物,其检测原理可用数学关系式表示为

$$I = \frac{U}{R}$$

式中:I为漏电表漏电流( $\mu A$ );R为绝缘电阻( $M\Omega$ ) u为表示对箭上设备所加的漏电压(v)。

当I值为零时,表明箭上电气系统正常;当I不为零时,则表明绝缘阻值下降,箭上电气系统可能存在多余物。

3)每项作业完毕后,仔细收拾测验现场,清点东西及图纸材料,以防留在产品上构成遗留物形式多余物,承认无误后,方可脱离现场。

别的,在产品交接、保管、运用及运送全过程,也应严格控制多余物。

#### 2.2 火箭测试过程中多余物自动检测控制方法

因为火箭在测试阶段往往处于关闭或半关闭状况,口视法和听检法存在着分辨率低、误漏判份额大、对操作人员要求高等缺陷,使产品的质量一直存在着不稳定要素。

技术人员在测试运载火箭的相关性能指标前,需要加强专业素质能力的培训,仔细排查机体自身掉落的零部件等问题,并针对性地处理存在的问题,以保障航天产品研制的安全性和稳定性。工作排查过程中,需要剪断保险丝并将其放入专用的工作袋中,便于后续工作中排查问题。针对试验测试人员的测试效果,技术人员需要登记后进仓工作,并将必要的工具装入工具袋中,且工具应设有防脱落措施。进仓工作前,要登记带进舱内的工具和零件,便于出舱后核查使用数量。此外,工作人员要按规定着装,禁比将手表、打火机等个人物品带入舱内。进入舱

内后,为控制产品的质量,需要将舱内的核心功能区划分为核心区与辅助区,以分区的方式检测舱内部位。

针对电子电器系统,技术人员需要先观测项目的外观是否受损,确保各部位的零件能够正常工作,同时保证航天产品内部的各元件连接处于正常状态。若技术人员观测到零件的状态不正常,应及时分析与解决航天产品所出现的问题。测试结束后,需要检查产品上仪器和电缆对应的电连接器,并将敞口部位盖好堵盖。在排除故障时,若需要断开连接部位,应在该部位下铺垫白布,以免有多余物脱落。

运载火箭的气源露点检测为一年5次,尘埃粒子的检测为每月1次。技术人员在检测过程中要注意气源的状态,保证气源的露点合理和地面气源能够进入箭体内部。在测试动力系统前,需要吹除连接配气台的导管和连接测试设备与发动机的测压软管中的多余物。技术人员在现场测试过程中,需要吹除气源接口中的异物。关闭气源后,将蘸有酒精的半干白色绸布对准放气口,并检查白色绸布上是否有多余异物,以保证配气台管口处的清洁。下面将介绍几种自动检测办法。

### 2.2.1 颗粒碰撞噪声检测(PIND)法

颗粒碰撞噪声检测(particle impact noise detection)是现在比较广泛运用的一种多余物检测办法,该办法具有速度快、准确度高、反响活络、操作简略等优点。其作业原理如图1所示:将被测产品固定于振动台的传感器上,振动台发生一系列的机械冲击和振动,多余物在弹体内部滑动与碰击,传感器将碰击的声响以电压的方式输出,操作人员依据扬声器输出的声响和示波器上显现的声响信号波形判别有无多余物。

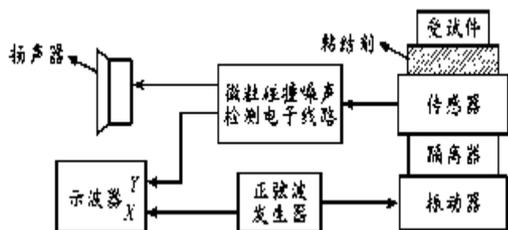


图1 美军规范规定的微粒碰撞噪声检测系统

目前,国际航天事业所认可的内窥检测方法为微粒碰撞噪声检测。它由颗粒碰撞噪声检测(Particle Impact Noise Detection, PIND)系统的振动物发出的一系列特定的机械冲击和振动,促使束缚粒子在航天产品内腔中碰撞,并通过传感器将产生的撞击声变成电信号,随后转化为示波器上的波形,再由技术人员根据波形图像分析该部位是否有多余物。较为常用的多余物自动检测方法有航天电子装置自动检测法和利用声波分析的自动检测法。电子装置自动检测法是对传统PIND试验方法的升级。因为人为操作存在主观偏差,所以常出现疏漏或者误判,从而无法保障检测精度。传统检测仅能判断装置中是否存在多余物,并不能判断多余物的位置等信息。电子装置自动检测系统能够收集滑动与撞击混响信号,与传统检测相比,能更加精确地监测装置中的多余物。声波分析自动检测法是通过采集声波来实现检测的检测方式,在振动台产生振动的同时,用相关设备采集输出的声音信号,并将信号传输至软件分析系统,从而实现多余物的监测。

传统PIND试验方法中,主要依靠目视和耳听的方式判断多余物是否存在。在实际操作中会出现因操作上的疏漏引起漏检或误判,导致检测精度不高,而且该方法只能对多余物微粒的有无作出判断。该自动检测系统中应用的声音传感器能拾取滑动与撞击混响信号,从而实现电子

装置多余物的检测。

针对不同质量等级的颗粒信号特点,利用小波分析、同态滤波及相关分析等信号处理技术,滤除不同成分的噪声信号,实现多余物微粒的自动检测;应用神经网络等理论,提取多余物微粒的分布特征,建立不同材料多余物微粒特征样本库,通过分析多余物微粒的信号特征量,实现多余物颗粒金属、非金属材质特征的判别。

### 2.2.2 利用X射线及小波变换自动测定法

该办法使用X射线及小波改换主动测定多余物空间方位,控制体系经过机械体系调整X射线源、物体和成像体系之间的方位,来获得不同角度图画,然后经过视差求得多余物的三维方位。其间视差的核算需凭借小波改换理论,由此核算出的多余物三维方位尺寸比较接近实践测量值。

### 2.3 处理方法

发现和检测到多余物后,应根据多余物自身特色、呈现的方位等要素,有针对的铲除多余物,现在常用到的处理办法有:吸取法、清洗法、擦洗法、磁吸法、勾夹法、胶粘法、固封法、干燥法等等。

日常清洁周转箱是预防多余物的有效方法。周转箱是在设备移动和周转的过程中所要用到的设备,在其使用过程中,要防磕碰与划伤,以避免产生多余物。对于长期暂停运转的地面设备要采取封存处理,以避免被污染。有干燥度要求的设备应检查周转箱内是否干燥。检测不同部位的多余物时应用到的检测方法不同,通常用到的检测方式主要包括直接检测法、敲击检查法、设备检查法等。例如:技术人员在检测过程中使用到的手电筒、反光镜、电路管、连接器和箭上产品等均能用于直接检测;通过对硬件设备的摇动和敲击(主要是对箱体、壳段等用橡胶榔头轻轻敲打)等判断多余物声源的方式属于敲击检查;使用设备检查时,要检查铆接件和装配后形成的死角和夹缝等部位是否存在多余物并清理。在航天结构类产品中,内窥检测发现的多余物一般分为活动类多余物和非活动类多余物。因为普通的检测装置无法适应航天产品复杂的内部结构,所以内窥检测成为检查航天产品复杂内型面结构中多余物的有效途径。内窥检测能够在多余物形貌图片的基础上,通过深入了解航天产品内部结构,精准检出多余物。

### 3. 结论

近年来,航天产品暴露出的多余物问题呈现多元化及复杂化趋势,多余物控制除了加强常规检测办法、强化管理制度、标准生产过程等方面外,还应积极探索新技能、新办法、新工艺,将先进技能与现有技能交融,进步我国的多余物自动检测技能,提升我国航天产品质量,为未来航天事业的开展打下坚实基础。

### 参考文献:

[1]沙庆涛,魏晓欣,孙立强,刘昭阳,黄洪奎.运载火箭桁架蒙皮结构铆接壳段多余物分析与控制[J].军民两用技术与产品,2021(05):59-63.  
 [2]张妍,胡经民,王东,甄晓改.运载火箭出厂测试多余物的控制与检测[J].现代制造技术与装备,2021,57(09):194-195.  
 [3]范文杰,屈明杰.运载火箭总装气密试验多余物控制方法解析[J].科技创新导报,2020,17(05):2-3.  
 [4]顾中华,宋建岭,张鑫,王日杰,张帅.运载火箭贮箱多余物立式自动清理与检测技术研究[J].载人航天,2020,26(03):361-367.