

航天发射故障检测与处理方法

徐克俊¹ 郑永煌^{1,2}

(1 中国酒泉卫星发射中心 2 西安交通大学系统工程研究所)

摘要 围绕航天发射活动特点,提出航天发射故障诊断要求、故障检测概念和检测方法,以及发射故障的判据和处理方法。

关键词 航天发射故障 检测方法 故障判据 处理方法

1 引言

航天发射活动是人类探索太空的一项高风险的科学试验活动。活动特点是探索性的,有很多的未知规律;活动的工具是具有实验性的,无论卫星、飞船、空间站等航天器,还是运载火箭、导弹和发射设施,大都是新研制的试验产品,即使是已定型的导弹和发射设施,每次参加航天发射活动,通常也都具有新的试验内容和目的,带有明显的科学实验特征,具有很大的风险;发射对象活动的主要范围是在地球大气层之外的宇宙空间,具有很大的危险性;活动的影响波及全世界,亿万人民关注,具有很强的社会影响力。为了保证航天发射活动的成功,对航天发射故障诊断的要求是:定位准确、机理清楚、措施有效、过程迅速。

(1)定位准确。航天发射故障诊断,是系统的故障诊断,不仅要检测出发射对象和发射设施是否出现了故障,而且要分离到是哪个分系统、哪台设备、甚至哪个零部件或元器件出现故障,不能出现误判和漏判。

(2)机理清楚。对设备故障发生的外因、内在的生成方式和形成原理都要搞得很清楚;对故障模式、故障影响和故障危害也要弄得非常明白。为有针对性地采取维修策略,对故障进行预防和治理创造条件。

(3)措施有效。对设备故障的处理对策有效果。对发射对象和发射设施关键系统的处理对策要求更为严格,纠正措施必须能彻底排除故障,消除隐患。

(4)过程迅速。对航天发射故障诊断反应过程要求快速。时间的拖延,就意味着可能影响发射活动的进度、计划,付出更大的经济代价;严重时,甚至会错过发射窗口,取消发射计划。当然,故障诊断的目的,最终是要保证发射成功,如果重大故障一时排除不了,还应按照“进度服从质量”的原则,彻底排除故障后才能进行后续的发射活动。

本文根据航天发射活动的特点和故障诊断要求,提出了航天故障检测的概念和检测方法,明确了航天发射故障的判据和处理方法。

2 故障检测与检测方法

故障检测是航天发射故障诊断技术的重要内容,也是航天发射故障诊断的前提与手段,它与检测技术密切相关。

2.1 检测的基本概念

检测是检查和测试的统称。检测是一个广义的概念,是为获取能表征产品状态的信息而进行的检查、测量、试验、数据处理和判别过程,凡是对产品进行的检查、测量、试验都可以称为检测,或简称为测试。在故障诊断中检测的基本任务是获取产品的有关信息。一般而言,检查相对简单一些,主要是通过人的感觉器官和简单的仪表进行测量、比较;随着产品复杂程度的增加,检查的内容逐渐深化,检查发展到需要使用专门的仪器、设备和测试系统按一定方法和程序对产品进行试验,来测量获取产品的有用信息,这就是所谓的测试。显然测试相对复杂一些。在航天发射故障诊断中,检查和测试这两个术语没

有严格界限,有时统称为检查测试,或检测。

检查测试是航天发射活动中的一个重要环节。检查测试的主要作用是:

(1)性能测试。包括发射产品的出厂测试,发射技术准备过程中的测试、发射过程中的测试、飞行过程中的监测和发射设施任务前的检测等。其作用是通过测试对发射产品和发射设施做出全面的性能评价,检查、验证其功能、性能指标是否达到设计、制造要求,以确定设备是否可以出厂或参加发射。

(2)故障诊断。即通过检查测试及时发现和排除产品和发射设施故障,消除隐患,保持、恢复或改善产品的固有可靠性。

(3)标定和提供惯性器件的发射诸元参数。

航天发射活动中的检查测试可按产品的层次分为单机测试、分系统测试、匹配测试和总检查测试等;按产品组成为控制系统测试、推进系统测试、遥测系统测试、外测安全系统测试、卫星(飞船)测试等;按测试区域可分为工厂测试、技术准备区测试、发射区测试、发射过程和飞行监测等;按测试手段分为手动测试和自动测试,活动测试和固定测试,机内测试和机外测试等;按设备在测试时的位置分为在线测试、脱机测试;按测试的特性分为定量测试和定性测试,静态测试和动态测试,开环测试和闭环测试,直接测试和间接测试;按测试时间可分为定期测试、连续监测等。

2.2 故障检测的概念

故障检测是在设备使用过程中,为确定其状态,判断其是否能完成规定的功能,即是否存在故障而进行的检查和测试过程。

故障检测是检测技术中的一个重要分支,也是

故障诊断技术的一项重要内容。它是通过对设备进行检测所获得的信息,来判断设备是否处于可工作、不可工作或性能下降的状态,即判断设备是否存在故障,属于故障诊断中的状态监测范畴;在状态监测中发现了设备的异常现象或故障征兆,就要依据它们进行故障分析,根据分析的结果,进一步进行故障检测,以隔离故障;采取故障纠正措施后,还要进行检测,以验证措施的有效性。因此,故障检测包括了设备的状态监测、故障分离中的检测和故障纠正后的验证检测全部内容。其检查方法完全依赖于检测技术。

故障检测的理论依据是以下假设:设备的故障,会以其定性的功能丧失和定量的性能参数变化表现出来,特别是后者。设备性能参数的变化不仅能反映故障,还能反映故障的征兆和发展程度。如:设备发生故障或有故障征兆时,其物理性能参数(声音大小、气味的浓淡、温度的高低、速度的大小等)、时间参数、电性能参数、模型参数、输出变量、状态变量、残差变量等,其中之一或多个将会发生变化,变化的幅度超过规定的范围,则认为设备出现了故障。各种故障诊断技术即由此按不同的侧重方向发展而来。

2.3 检测方法

航天发射检测对象是复杂设备,一般要利用特殊的测试系统来进行。测试系统的基本原理框图如图 1 所示。

测试系统的基本原理和功能包括以下要素:

(1)激励信号产生和输入。即产生必要的激励信号,将其施加到被测产品上去,以便得到要测量的响应信号。必要时,可以模拟产品运行环境,把被测产品置于真实工作条件下。

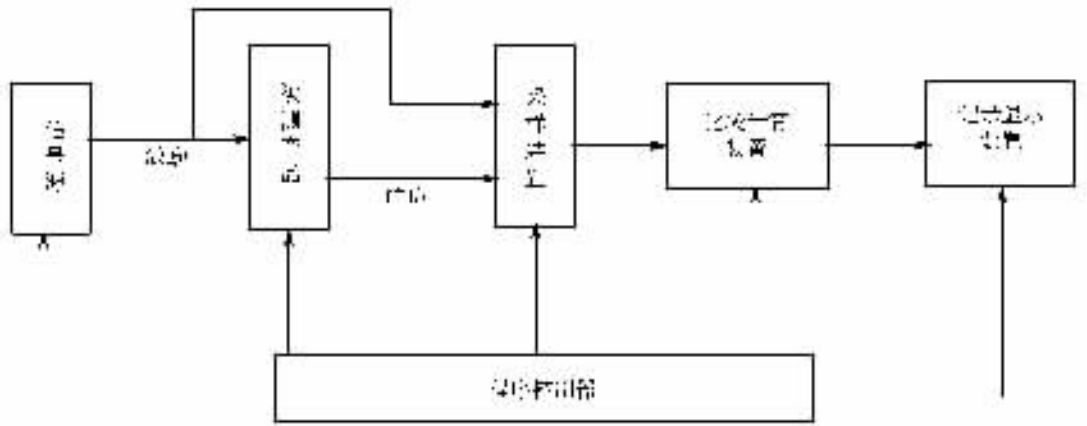


图 1 测试系统的基本原理框图

(2)信号的采样测量。对被测试产品的激励信号,以及在激励信号作用下产生的响应信号进行采样测量。

(3)比较、计算、判断。对采样测量获取的响应信号与标准值或激励信号进行一定的数据处理、比较、计算,并按规定的准则进行判断,确定被测试产品的状态,得出测试结论。

(4)测试结果的输出记录和显示。将测试结果用存储器、磁带、打印机或热敏记录仪等记录下来,并用仪表、音响、灯光指示或显示屏以图形、文字形式显示。

(5)程序控制。即对产品测试过程的每一操作步骤和顺序进行控制。随着计算机技术的广泛使用,现在的航天发射测试系统一般都将比较、计算、判断的功能与程序控制的功能结合在一起,利用计算机来完成。

3 故障判据与故障处理

航天发射故障诊断的最终目的是故障处理。要进行故障处理,就不能不涉及到故障判据。即究竟什么样的检测结果属于故障,什么样的故障类型和危害程度需要采取何种对应的维修对策等。

3.1 故障判据

故障判据是指判断是否属于故障的依据,也称故障判断准则。在航天发射故障诊断中,故障判断准则以制定合格标准来衡量。一般而言,合格标准包括三方面的内容,即功能正常、指标合格和接口匹配。如检测结果偏离这个标准则判定为不合格,这意味着设备出现了故障。

功能正常是指对检测结果的定性判断,即设备是否具备定性的功能要求。例如在指令控制下,执行机构的动作技术要求是前伸,实际测试的结果是前伸,则认为功能正常;如实际测试的结果是不动作或后缩,则认为功能不正常,即执行机构出现了故障。

指标合格是指对检测结果的定量判断,即测得的设备性能参数量值是否在相应的技术文件规定的合格范围之内。是则为合格;否则为不合格。例如,在一定条件下要求放大器的输出为 5.5V 至 6.5V。实测结果为 6V 则认为合格;实测结果为 5V 或 7V 则判为不合格,亦即认为放大器出现了故障。

接口匹配是指从全系统的角度来考核系统、各

组成系统或单机设备之间相互协调、配合工作的定性功能判断。如单机设备、分系统设备、甚至系统设备,在自身检测时均合格,但在一起工作时,某一单机或某一分系统或整个系统出现功能不正常,则意味着出现匹配故障。

需要说明的是,在故障判断准则中,定性的功能正常、接口匹配的判断标准是基本的,必须具备的;定量的合格标准,即相应的技术文件规定的设备性能参数合格范围,则依设备的使用环境、应用场合、技术条件而有所差别。如同一个元器件,装在航天产品上是不合格的,可以判定为产品故障;但它装在民用产品上就可能是合格的。同样,航天发射故障判断准则指标在发射活动的不同阶段,要求也是不同的。如在单机设备和分系统生产厂比总装厂高;在总装厂比发射场高;在发射场技术准备区比发射区高等等。

3.2 故障处理

在航天发射活动中,一经检测发现发射产品和发射设施出现故障或故障征兆,就要做出相应的处理。

(1)处理原则

处理原则一:保证发射安全、保证发射可靠。发射的安全包括了载人航天中航天员的安全、发射人员的安全、发射活动涉及到的人民群众的生命、财产安全,环境的安全,以及发射产品和发射设施的安全等。发射的可靠则主要是指发射要不出故障圆满完成预定的各项任务,即发射任务的成功。按照这条原则的要求,决定了航天发射故障处理的严格性,即对故障的处理要求是彻底纠正,彻底排除,消除隐患,不带疑点发射。

处理原则二:按照以可靠性为中心的维修理论,依据故障的后果,区分故障的类型采取有针对性的维修对策处理故障。按照这条原则的要求,对于灾难性故障和重大故障,必须竭尽全力彻底防治,至少要将故障风险降低到可以接受的水平,否则需要更改设计;如果属于一般故障,只会给任务进展和经济带来一定影响,则视情采取更换、修理或更改设计的措施加以处理;如果属于影响轻微的故障,不影响发射成败,可在故障原因、故障机理分析清楚的情况下,安排日常维护,不必采取任何措施,直到故障出现以

(下转第 59 页)

入,导致 YD 指示灯不亮。

5 结束语

综合诊断方法是航天发射故障诊断中比较有效的一种方法,在实际应用中应注意从易到难,从高层到低层,从系统级到元器件,逐步将多种诊断信息、诊断手段和诊断方法综合应用,提高故障诊断准确性和效率。◇

(上接第 53 页)
后再来处理。

以上两条原则和要求既有共同点,也有矛盾之处。共同点,即对于有重大后果的故障,处理要求都是严格的,但对其它故障,要求则有差别:第一条偏严,第二条稍宽。如何掌握宽严尺度?这就要求在航天发射故障诊断中,切实做好故障分析工作,故障处理最终采取何种维修对策,完全依赖于故障诊断的结果,特别是故障分离的结果,故障处理离不开符合实际的故障分析;应用以可靠性为中心的维修理论,常常要站在较保守的立场上来评估故障后果,即如果没有确凿的证据证明故障不具有严重后果,就先暂定它具有严重后果,以保证发射风险最小。

(2) 处理对策

一般包括如下方法:

①更改设计、生产工艺、软件等。是从根本上提高设备的固有可靠性,消除设备的固有缺陷,彻底排除故障。该方法对于解决具有批次性质量缺陷问题的故障是必须的。

②更换出现故障的设备和零部件。该方法对于偶然出现的个别设备故障和个别零部件故障,常常是有效的。因为它可以提高设备不出偶然故障的概率。

③修理出现故障的设备和零部件,该方法对于因生产中的个别使用操作引起的故障和因耗损特性引起的个别零部件故障,常常是有效的。因为它可以

参 考 文 献

- [1] 王仲生. 智能故障诊断与容错控制. 西安: 西北工业大学出版社, 2005.4
- [2] 陈炜, 吴志良. 故障诊断专家系统结合故障树技术的结构研究. 航海技术, 2005, 第 6 期
- [3] 蔡远文等. 运载火箭测试发射过程中故障模式分析与故障诊断研究技术报告. 北京: 装备指挥技术学院, 2002
- [4] 张道昶, 郑永煌. 载人航天测试发射总体文汇. 酒泉卫星发射中心, 2005

纠正生产中的这种个别使用操作差错或延长有耗损特性零部件的有效寿命。

④调整或改变使用操作或设备运行的程序、方法,以避开引起设备故障的外部影响。该方法对于处理一般故障和轻微故障是有效的。

⑤维护保养和状态监测。该方法对于处理轻微故障或有故障征兆(一旦发生,故障影响也是轻微的)设备有效。因为它可以延缓故障的发生或预测、预防故障的发生。

⑥起动的防护装置或安全装置。该方法对于处理航天发射产品在空气中飞行时发生危及航天员安全或地面安全目标的重大故障是必要和有效的。

⑦系统重构。对于处理有裕度设计产品的故障是常用的方法,也是自诊治系统修复故障的有效方法。

4 结束语

本文所介绍的航天发射故障检测方法和故障判据以及故障处理方法是在总结我国几十年航天测试发射的经验基础上,结合大量典型实例总结提炼出来的,在实际工作中具有较好的指导作用。◇

参 考 文 献

- [1] 徐克俊. 发射工程学概论. 北京: 国防工业出版社, 2003
- [2] 穆山. 运载火箭控制系统. 北京: 国防工业出版社, 2003
- [3] 虞和济. 设备故障诊断工程. 北京: 冶金工业出版社, 2001