

载人航天运载火箭可靠性信息采集、管理与评估系统

李文钊 谷 岩 张立洲 刘 欣

(北京宇航系统工程研究所)

摘 要 简要介绍载人航天运载火箭型号配套研制的可靠性信息采集、管理和评估系统 (RICE)。利用该系统完成载人航天运载火箭研制过程中可靠性信息的采集、管理,并在首次载人飞行任务前进行了可靠性评估。

关键词 可靠性 采集 建模 评估

1 引言

载人航天运载火箭是载人航天工程中的重要组成部分。为确保载人飞行的成功,载人航天工程总体对载人航天运载火箭提出了我国现有火箭中飞行可靠度最高的定量指标要求,并要求在首次载人飞行前必须进行可靠性评估。

为实现载人航天工程总体对载人航天运载火箭明确的可靠性要求,建立了载人航天运载火箭可靠性信息采集、处理和评估系统(简称 RICE 系统),采集了载人航天运载火箭研制过程中的可靠性信息,

并在发射载人飞船前,利用 RICE 系统由整机到分系统、由分系统到全箭进行了综合评估,给出了客观的评估结果,为发射决策提供了坚实依据。

2 RICE 系统主要功能

RICE 系统主要用于采集和管理载人航天运载火箭研制过程中的可靠性设计、分析、试验信息,通过分析火箭各分系统的可靠性工作情况、评估各分系统达到的可靠性水平,发现型号和分系统中存在的可靠性薄弱环节,及时采取纠正措施消除潜在隐患,确保发射载人飞船的成功。RICE 系统组成见图 1。



图 1 RICE 系统组成图

RICE 系统利用计算机网络技术、数据库技术、动态链接库技术、可视化图形编辑技术、OLE2 技术,建成了一个集可靠性信息采集、可靠性建模、可靠性评估和可靠性报告生成为一体的 CS 模式计算机应用系统。RICE 系统专设总服务器,箭体结构、管路阀门、故检系统、外安系统、遥测系统、控制系统、推进剂利用系统、

液体发动机、固体发动机、逃逸系统、地面设备等 11 个分服务器分别设在相关研制单位,其分布见图 2。

2.1 可靠性信息采集

RICE 系统中可靠性信息分为可靠性设计分析信息和可靠性试验信息两部分。可靠性设计分析信息主要包括各级产品的 FMEA 报告、可靠性设计分

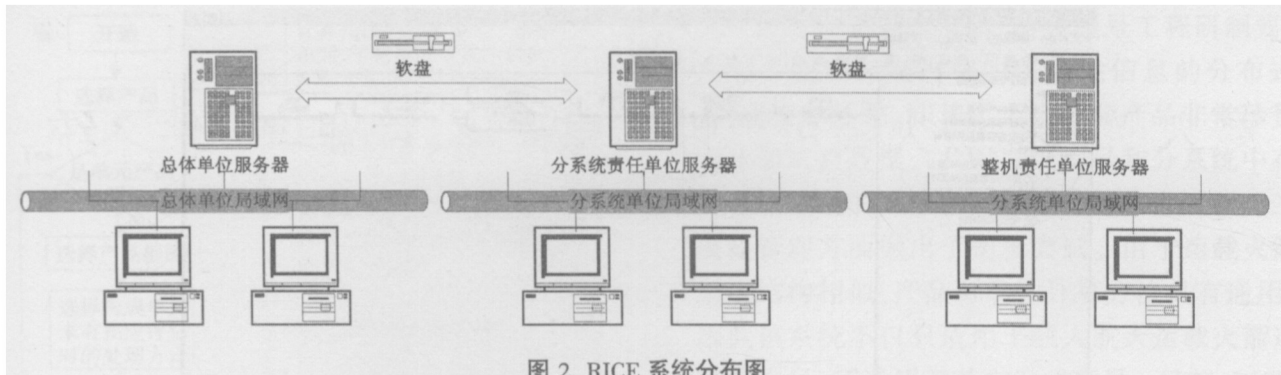


图 2 RICE 系统分布图

析报告、故障归零报告等，采用 FTP 方式上传和下载，并对上传下载情况进行登记；用于评估可靠性的有关试验信息主要包括各级产品在验收试验、综合试验、匹配试验、可靠性增长试验、发动机热试车、静力试验、总装测试、靶场测试、飞行试验等试验和测试中产生的可靠性信息，如通电时间、循环次数、性能参数测量值、有无失效等，并根据失效的原因及采取的纠正措施、归零情况进行非相关故障数据剔除等。可靠性试验信息采集采用数据库方式，按照型号产品配套表进行采集管理，采集的主要流程如图 3 所示。

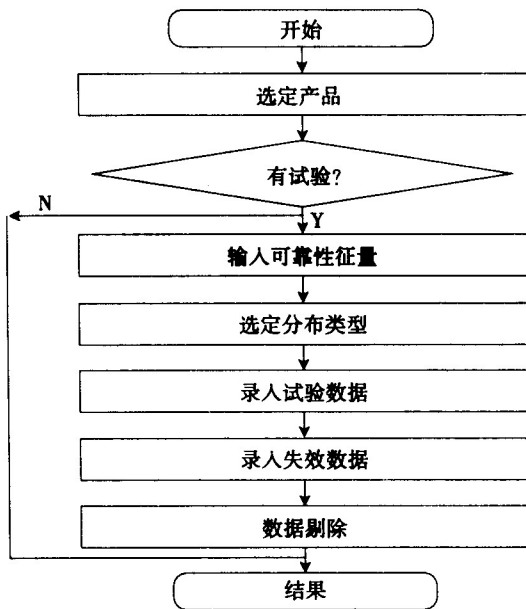


图 3 试验数据采集流程图

RICE 系统从初样阶段就开始收集产品可靠性试验信息。当产品技术状态变化很小时，可以将积累的丰富数据用于支持可靠性评估；当产品技术状态发生了较大变化时，需要分析数据是否可用于可靠性评估，即使评估不用，也可以用于支持可靠性分析。例如，RICE 系统中的一个电子设备，从初样阶段

到发射“神舟”五号载人飞船前共有 36 次试验的数据记录，如图 4 所示。

2.2 数据字典

RICE 系统将常用的规范化信息用数据字典进行管理，分为全局数据字典和工程数据字典两类。全局数据字典主要与可靠性设计分析信息有关，包括责任单位、设计报告类型、产品分类、工程项目等；工程数据字典主要与可靠性试验信息有关，包括研制阶段、试验项目、分布类型、评估种类、安装位置、环境因子、置信度等。

2.3 型号配套表

RICE 系统中，可靠性试验信息采集、管理和可靠性评估均按型号配套表进行组织，并按“全箭-分系统-整机”的级别以结构树的形式表现出来，如图 5 所示。这种方式便于产品查找定位。

2.4 可靠性建模

建立可靠性模型是进行可靠性评估的一项前提工作。RICE 系统集成了一个图形化的可靠性框图工具，用户可以直观、方便、简捷地建立全箭和分系统的任务可靠性框图和基本可靠性框图，从而确立可靠性逻辑关系。例如载人航天运载火箭外安系统飞行可靠性框图见图 6。

2.5 可靠性评估

运载火箭中的产品可靠性特征量主要属于成败型、指数寿命型、耗损型和正态分布型。北京大学陈家鼎、郑忠国教授等专家学者研究了适用于成败型、指数分布型、weibull 分布型、正态分布型单元产品可靠性评估算法，非成败型数据转换为成败型数据的数据转换算法和系统可靠性综合评估算法。这一系列方法经检验，计算结果比较接近工程实际，为此，RICE 系统采用了这套可靠性评估方法。可靠性评估的主要流程见图 7。

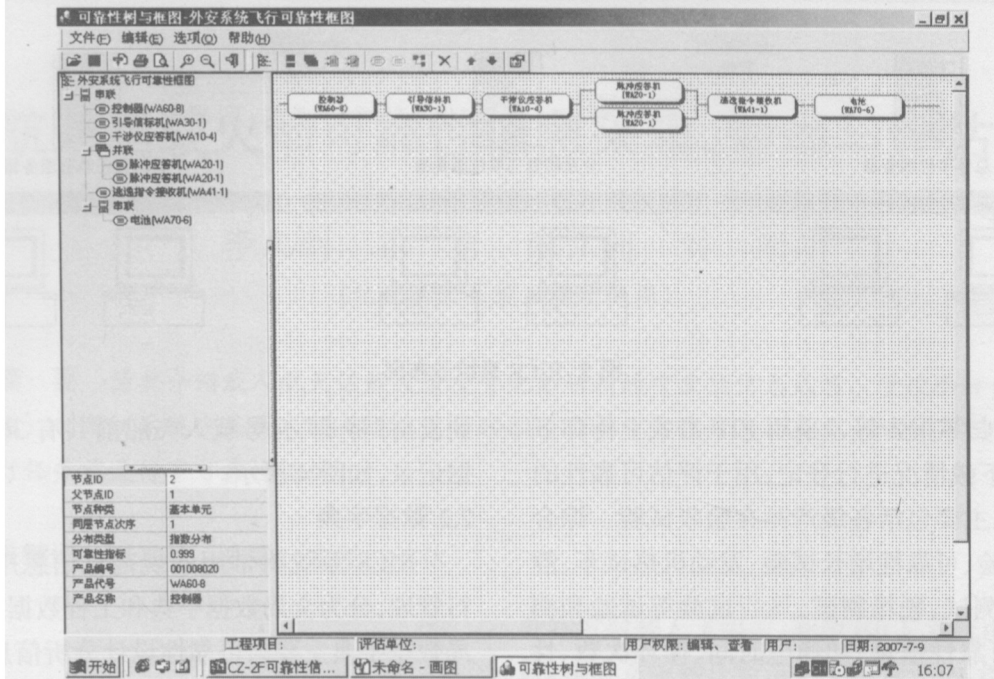


图 4 产品可靠性试验信息示意图

研制阶段	产品编号	批次	试验项目	试验说明	借用标志	借用型号	试验时间	单位	有效
27	F3	42	匹配试验		本型号		8	小时	有效
28	F3	42	出厂测试		本型号		8	小时	有效
29	F3	42	靶场测试		本型号		18	小时	有效
30	F3	42	飞行试验		本型号		1.2	小时	有效
31	F4	43	验收试验		本型号		240	小时	有效
32	F4	43	系统综合试验		本型号		50	小时	有效
33	F4	43	匹配试验		本型号		8	小时	有效
34	F4	43	出厂测试		本型号		8	小时	有效
36	F4	43	靶场测试		本型号		18	小时	有效
36	F4	43	飞行试验		本型号		1.2	小时	有效

图 5 载人航天运载火箭型号配套表

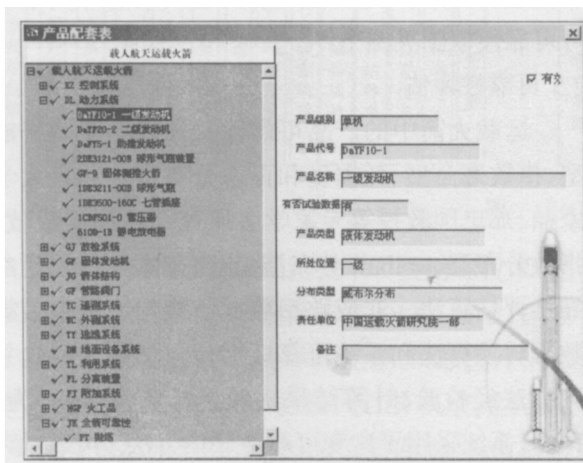


图 6 载人航天运载火箭外安系统可靠性框图

3 RICE 系统的应用

载人飞船发射任务前,利用 RICE 系统对载人航天运载火箭进行了可靠性评估,给出了在置信度为 0.7 情况下的全箭飞行可靠度置信下限。评估结果显示,发动机和增压输送系统是验证相对不够充分的项目。为此,对发动机、增压输送系统进一步加严了产品生产、验收、测试、操作等过程控制,为确保载人飞船发射任务圆满成功发挥了重要作用。

4 结论与展望

RICE 系统作为一个以型号需求为牵引而开发

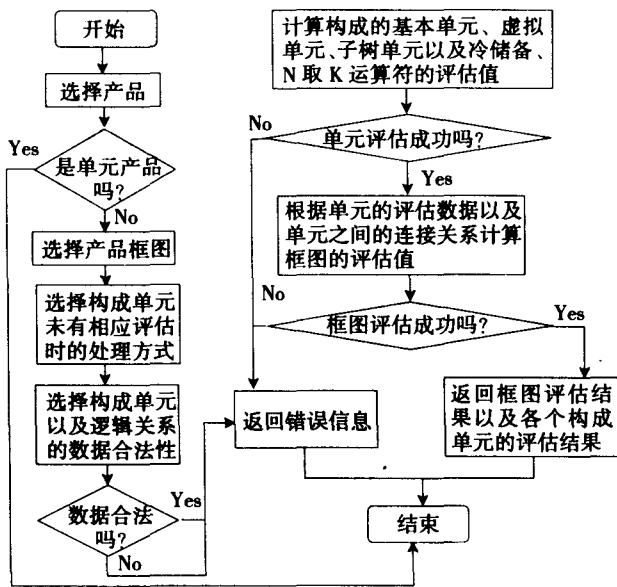


图 7 可靠性评估流程图

的可靠性设计分析工具,满足型号工程研制要求,实现了型号研制过程中可靠性信息的分布式采集、建模和评估,积累了全箭配套产品非常珍贵的设计和试验数据,及时发现型号和分系统中存在的可靠性薄弱环节和问题,在可靠性工程与工程质量管理方面做出了初步尝试。由于运载火箭的组成结构相似,产品可靠性计算方法具有通用性,因此该系统不仅只适用于载人航天运载火箭这个特定型号,还适用于其它运载型号。目前,RICE 系统正根据型号研制新的需求,向 B/S 模式、丰富可靠性数据项、增加数据分布类型检验和数据一致性检验、增加故障模式库等方面进行升级完善,以努力丰富工程研制与可靠性技术密切结合的工作实践与经验。 ◇

(上接第 64 页)

的问题不足以对航天飞机继续执行任务造成影响。

在“亚特兰蒂斯”号和国际空间站对接期间,航天员进行了 3 次出舱活动,利用国际空间站外部的机械臂,把长约 7m、重约 10t 的“哥伦布”实验舱安装到空间站上。

2. 航天员出舱活动

11 日 21 时,美国航天员雷克斯·瓦尔海姆和斯坦利·洛弗进行第一次出舱活动,12 日 5 时 44 分,在经历约 8 个小时的出舱活动后,两名航天员终于成功地将“哥伦布”实验舱安置到国际空间站上,“哥伦布”实验舱成为了国际空间站的最新一部分。由欧洲航天局建造的“哥伦布”实验舱耗资 20 亿美元,实验舱长 7m,宽 4.5m,重达 10t,可承载 3 名航天员。“哥伦布”舱内最多可容纳 3 人,同时可安放 10 套科研装置。它的就位使空间站的舱数升至 8 个,将大大提升空间站的实验能力。实验舱装备有多种实验设备,能够进行生物技术、机械运转、微重力环境研究等方面的实验。欧洲航天局在德国慕尼黑附近新建了一个控制中心,以监视“哥伦布”实验舱的工作和实验进展。

2 月 13 日,美国航天员雷克斯·瓦尔海姆和代表欧洲航天局的德国航天员汉斯·施莱格尔进行第二次出舱活动,成功地为国际空间站更换了一个液氮罐。液氮罐是空间站冷却系统的一部分。在空间站机

械臂的帮助下,两名出舱航天员首先从航天飞机货舱中将新罐移出来,放到一个运输车中,然后将氮已用尽的旧罐拆除。二人协作再将新罐成功安装到预定位置,旧罐将由航天飞机带回地球。由于提早完成了此次出舱活动的主要任务,两名航天员又在空间站的新舱——“哥伦布”实验舱外安装了保温盖,检修了美国“命运”号实验舱外的轨道碎片防护板。

2 月 15 日,航天员雷克斯·瓦尔海姆和斯坦利·洛弗进行第三次出舱活动。在持续 7 小时 25 分钟的出舱活动中,将两个实验平台安装到“哥伦布”实验舱外部。一个是名为 SOLAR 的太阳观测台,它将对太阳进行为期两年的观测。另一个是欧洲技术暴露设备(EuTEF),未来在这个平台上将进行 9 项科学实验,这些实验都需要暴露在空间环境中进行。此外,两名航天员还将空间站外存放的一个失灵陀螺仪回收,放入“亚特兰蒂斯”号货舱中以运回地球。他们还检查了空间站的一个闸舱门附近扶手的一处翘起。地面专家将根据收集到的数据,分析此处翘起是否是造成此前出舱活动中划破航天员手套的原因。

3. 航天飞机的返回

18 日 17 时 24 分,航天飞机与国际空间站脱离,开始返航。2 月 20 日 22 时 07 分,航天飞机安全降落在美国佛罗里达州肯尼迪航天中心。 ◇

(石培新/提供)