

载人航天工程地面逃逸安控系统可靠性技术

张文育^{1,2}, 王家伍², 刘燕超², 孙强²

(1. 装备指挥技术学院 航天装备系, 北京 101416; 2. 中国酒泉卫星发射中心, 甘肃 酒泉 732750)

摘 要: 在载人航天任务中, 保障航天员的生命安全是地面逃逸安控系统的首要任务, 该系统具有高可靠性、高安全性。因此, 对其可靠性进行研究十分必要。主要研究了逃逸安控系统可靠性技术, 包括数据接收与处理、逃逸安控软件、指挥模式与指令发送等几个关键环节的可靠性, 提出了提高系统可靠性的方法和措施, 完善了地面逃逸安控系统可靠性设计, 为圆满完成后续载人飞行任务打下良好基础。

关 键 词: 地面逃逸安控系统; 可靠性; 指令

中图分类号: V 528

文献标识码: A

文章编号: 1673-0127(2006)05-0107-04

Reliability Technology of the Ground Escape and Safety Control System in the Manned Space Project

ZHANG Wenyu^{1,2}, WANG Jiawu², LIU Yanchao², SUN Qiang²

(1. Department of Space Equipment, the Academy of Equipment Command & Technology, Beijing 101416, China;

2. China Jiuquan Satellite Launch Center, Jiuquan Gansu 732750, China)

Abstract: In the manned space task, ensuring the safety of spacemen is the chief task of the ground escape and safety control system. The system are of high security and high reliability. So, studying the reliability of the system is very necessary. The objects of studying the reliability are mainly the key parts, such as the receiving and processing of data, the software of the ground escape and safety control system, the commanding mode and the instructions sending, and etc. The studying puts forward the methods and measures of improving the system reliability, perfects the reliability design and lies a solid foundation for completing the future task successfully.

Key words: ground escape and safety control system; reliability; instruction

保障航天员的生命安全是世界上有能力进行载人飞行试验的国家都要面临的一项严峻任务。载人飞行任务中必须首先保证航天员的生命安全, 确保航天员在遇到紧急情况下能够安全快速地脱离危险区域, 做到该逃逸时不漏发逃逸指令; 另外, 为确保试验成功, 不因意外事故导致发射失败, 就要确保地面逃逸指令的安全可靠, 不误发逃逸指令, 致使火箭、飞船、发射场遭受灭顶之灾。

因此对地面逃逸安控系统的可靠性研究非常重要。

我国的载人飞行任务已成功进行了多次, 在任务的准备和实施过程中, 地面逃逸安控系统采用了多种提高和保证系统可靠性的方法和措施, 收到了较好的效果。但是系统也存在着一些不足, 随着载人航天工程深入发展, 对地面逃逸安控系统提出了更高的要求, 尤其是对可靠性的要求

收稿日期: 2006-04-17

作者简介: 张文育(1973—), 女(汉族), 陕西三原人, 工程师, 硕士研究生, Yan_chao_liu@sina100.com;

王家伍(1964—), 男, 高级工程师, 硕士生导师。

更高。

正是基于此原因,本文对载人航天工程中地面逃逸安控系统的数据接收与处理、逃逸安控软件、指挥模式和指令发送等几个关键环节的可靠性进行了研究和探讨。

1 地面逃逸安控系统组成

地面逃逸安控系统由测控通信设备、信息保障系统、指挥及决策支持人员等组成,如图 1 所示。

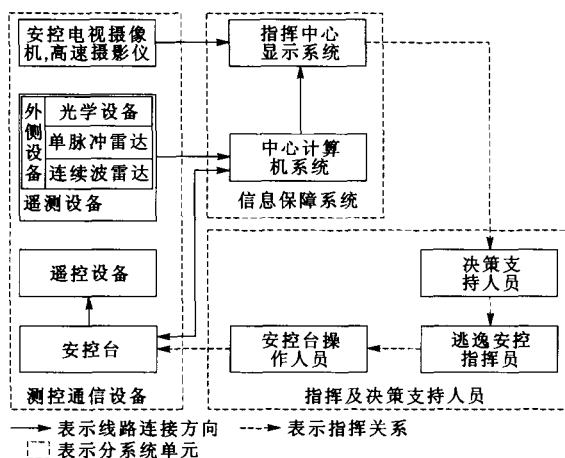


图 1 地面逃逸安控系统组成

测控通信设备包括安控台、遥测设备、遥控设备、外测设备、实况景象设备以及通信设备;信息保障系统包括信息处理系统(中心计算机系统)和指挥中心显示系统;指挥及决策支持人员包括逃逸安控指挥员、安控台操作人员、决策支持人员。

地面逃逸安控系统信息流程:测量设备接收并传输遥测、外测及图像信息给中心计算机,中心机系统进行相应的信息处理,结果信息供逃逸安控判决软件进行故障判决和指挥显示,逃逸安控指挥决策支持人员根据判决结果和显示信息决定是否逃逸和安控,若逃逸,安控则发出相应的指令。

2 数据接收与处理的可靠性研究

2.1 遥测、外测数据的接收

为了保障测量数据的可靠接收,采用了余度设计技术。余度技术是系统或设备获得任务高可靠性、高安全性和高生存能力的设计方法之一,其基本思路是以可靠性较低的基础元器件或零部件,构造高可靠性的产品/系统,或采用增加多余的资源以获得任务高可靠性^[1]。

遥测、外测数据的可靠接收是实施逃逸安控

故障判决和决策的前提条件。对单台测控设备而言,由于受地理位置、设备性能指标、操作人员素质等影响,测量的结果信息质量不能完全保证。因此对测量设备的备份是很必要的。从测控系统的角度分析,可以利用多台测量设备进行测量,各设备分别布置在不同的位置执行相应的任务弧段,并且在任意弧段至少有 2 台以上设备同时进行接收,以保证数据不被遗漏。遥测设备在任意弧段至少有 2 台设备跟踪测量。实际任务中获取外测参数的设备较多(各种光学设备,雷达设备等),并且都分布在不同的任务弧段,大部分弧段都有备份设备,所以说信源可以得到保证。

2.2 判决参数的选用

判决信息的可靠性,是决定地面系统实施逃逸安控故障判决和决策可靠性的一个非常重要的方面。

遥测参数采集的可靠性与传感器的可靠性直接相关,而传感器存在很多不稳定的因素,如:使用火焰信号进行着火的判断,事后从对遥测数据的分析可以看出,火焰传感器获得的信号是不真实的;在实际任务中,只好放弃使用火焰信号,可以通过对判决模式和参数的优化,尽量选用可靠性高的遥测参数作为判决依据。

在实际的飞行过程中,由于受火箭的尾焰和飞行特征点的动作的影响,在起飞、助推器分离、逃逸塔分离、级间分离等时刻,遥测设备的接收电平都会明显下降,甚至导致地面遥测设备失锁,造成采集的部分遥测参数不满足处理要求,以致处理不出结果,给逃逸安控判决造成极大的困难甚至无法判断。因此需要采用对遥测信息多路处理以及关键指令的融合处理等方法,有效地解决这个问题。

在多个测量设备都跟踪上目标的情况下,也存在着优选哪台测量设备、哪个参数的问题,这是因为不同的测量设备其数据精度、跟踪稳定性等许多方面是不同的,必须综合分析,挑选出一个最优结果供逃逸安控判决使用。

2.3 遥测、外测数据的处理

遥测处理分系统负责接收多台遥测数据帧,为保证遥测信源的可靠性,遥测处理软件对多台遥测车多个流的数据同时进行处理,并对其中的关键参数进行融合处理,然后将优选和次优选设备的处理结果直接通过 100 M 局域网送至逃逸安控软件,为逃逸安控软件提供故障判决的信源,同时,将所有设备的处理结果通过显示服务器发

送到指挥显示系统进行显示,为指挥员决策提供参考。

外测处理分系统实时接收各种光学测量信息、雷达测量信息和遥测弹道信息,分别进行解帧、检择、平滑,然后再进行融合处理,得出一条最优弹道,发送给逃逸安控分系统和指挥显示系统,供故障判决和决策之用。

发射飞船或卫星是一项高难度技术,可靠性尤为重要,一旦失误,除损失巨额资金外,还会造成不良影响。为此,控制中心的实时测控计算机系统必须采用容错技术,以提高系统可靠性^[2]。

为确保可靠性,数据处理系统采取了多种措施:采用双机双网热备份的工作方式;对关键参数及综合弹道进行融合处理;对多路遥测信息进行处理;与航天部会签遥测参数处理方法等,有效地保证了处理结果的可靠性。

2.4 图像信息

在逃逸安控判决中,主要利用光学和电视图像信号来观察各种分离动作是否完成,但受发射时间、气象等因素的影响,不能只利用图像来判断是否分离,因此,在逃逸安控判决中,图像信号仅供参考。

在后续的任务中应该新增图像处理子系统,可以考虑由2台高端的图像处理服务器组成此系统,完成数字图像信息(包括高速电视、光电经纬仪、光学望远镜数字图像,以及火箭遥测图像)进信息保障系统的处理任务。其处理结果包括合成的视频、关键事件发生时刻,以及飞行器姿态等信息,作为上升段飞行情况判决的直观依据,也可作为在逃逸安控判决中利用遥测参数判决关键事件的重要补充手段。

3 逃逸安控软件的可靠性

为确保可靠性,逃逸安控软件系统可采用以下一些软件可靠性技术。

3.1 面向对象的软件开发方法

目前逃逸安控软件采用的是结构化设计方法,建议在后续的软件开发中,采用面向对象的开发方法。这是因为面向对象的方法便于软件复杂性控制,有利于生产率的提高,符合人类的思维习惯,能自然地表达现实世界的实体和问题,具有一种自然的模型化能力,达到从问题空间到解空间的较为直接、自然的映射。

在面向对象的开发方法中,由于大量使用具有高可靠性的库,软件的可靠性也就有了保证,用

面向对象的开发方法也利于实现软件复用。

3.2 软件复用技术

对于建立软件目标系统而言,复用就是利用某些早先开发的、对建立新系统有用的信息来生产新系统。软件复用的范围尚无严格的定义,不过通常可广义地定义为:它包容了凡是能收集到的、以后可用来开发其他软件的任何信息的复用^[3]。

在逃逸安控软件的设计中,最大程度地复用现有的成熟软件,如外测数据处理和遥测数据处理中的方法,不仅能缩短开发周期,提高开发效率,也能提高软件的可维护性和可靠性。因为现有的成熟软件,已经过严格的运行检测,大量的错误已在测试、运行和维护过程中被排除,应该是比较可靠的。在项目规划开始阶段就要把软件复利用列为工作中不可缺少的部分,作为提高可靠性的一种必要手段。

软件复用不仅仅是指软件本身,也可以是软件开发的思想方法、文档,甚至环境、数据等,软件复用通常包括3方面的内容:

- 1) 开发过程复用,指开发规范、各种开发方法、工具和标准等;
- 2) 软件组件复用,指文档、程序和数据等;
- 3) 知识复用,如相关领域专业知识的复用。

通常,使用较多的是软件组件复用和知识复用。

3.3 软件动态自检技术

软件动态自检技术是指对正在执行的程序性能进行实时动态检测。在逃逸安控软件的设计中可以对进程或线程的工作状态进行实时检测,发现异常情况时,采用相应的处理措施以保证软件的正常运行。

3.4 软件容错技术

提高软件质量和可靠性的另一类重要技术就是容错技术,即针对某些无法避开的差错,使其影响减至最小的技术。逃逸安控软件就属于容错软件。容错软件的定义为:规定功能的软件,如果在一定程度上对自身错误(软件错误)的作用具有屏蔽能力,则称此软件为容错软件。

对于实时软件,要求在不中断或不影响实时处理流程的前提下,可以进行异常保护或恢复正常处理,识别异常并且越过异常数据,保持正常流程的执行顺序。对于短帧、重帧、倒帧、超长帧、冗余帧等异常数据,都应设计相应的容错处理方法,软件能够自动地适应这些异常,既不会对当前的

正常处理结果产生影响,也不会影响处理过程的其他功能,并且在关键的处理过程中设置看门狗,用于处理在计算过程中偶然引发的边界异常值,确保软件不会陷入死循环状态。

3.5 软件的可靠性测试技术

在逃逸安控软件的测试中,集成使用了多种测试技术。根据逃逸安控软件的特点,在设计测试用例时,将划分参数类、建立数学模型、建立真值表、对类参数使用穷举法、应用边界分析法、应用组合法,以及箭遥参数和外测参数的动态仿真等多种技术集成使用。在一个用例中包括多个可能情况,用较少的用例实现软件功能测试的100%覆盖率,实现了在最短的时间、用最合理的方法、最少的测试用例,发现软件最多的缺陷的测试要求,有力保证了逃逸安控软件的可靠性。

4 指挥模式和指令发送的可靠性

4.1 指挥模式的可靠性

虽然计算机自动判决是发展趋势,但是诸多不定因素,如人的认识程度、判决参数的可靠性、计算机的软件及硬件能力等,决定了在目前计算机判决结果仍然只能作为决策的参考依据,最终要由人进行决策,确保稳妥可靠、万无一失。因此,对故障模式的判决,采用人机结合的指挥方式,确保了较高的可靠性。

影响指挥决策可靠性的因素有:逃逸安控判决的参数过多;显示画面过多;出现预案之外的情况时处置比较困难等等。针对这些情况逃逸安控的决策采用由型号部门和基地共同决策的模式,该模式是根据实际情况和历史现状并吸取国外成功经验决定的。双方各派出经验丰富的领导和专家参与,在任务前进行多次逃逸安控演练——型号部门对遥测参数的物理规律、反映的故障及机理最了解,由型号部门来进行遥测参数的判决;基地对外测设备、外测数据比较了解,由基地来进行外测参数的判决。二者分工合作,共同决策,能可靠地判断方案中提出的各种故障情况,通过多次载人飞行任务,证明了该模式是可行和成功的,可靠性满足载人飞行可靠性要求。

4.2 指令发送的可靠性

逃逸指令发送的可靠性包括2个方面:一是不误发指令;二是可靠地将逃逸指令发送给遥控设备。对于前者,为避免逃逸台操作人员误发指令,基地专门请场所人员对逃逸台的相关按键进行了改造,采取的措施包括以下3个方面:一是在按键上增加保护盖;二是加大了逃逸按键的强度,目前按下逃逸台逃逸指令按钮需要很大的力气;三是严格管理,操作逃逸台需要专门审批,通过这些措施,使误发逃逸指令的可靠性降到最低。

逃逸指令的发送可以通过3个途径:

1) 逃逸台发出指令后经转发至遥控终端执行;

2) 遥控终端操作人员从直通调度听到逃逸安控指挥员下达口令后诵数“1、2、3”(约3 s),若诵数完毕仍没有收到逃逸台发出的指令,立即转本控并发出逃逸安控指挥员下达的指令;

3) 逃逸安控指挥员直接通过直通调度命令遥控终端操作人员发令。

3个途径并行,有充分的冗余备份手段,使可靠性有很大保障。

5 结束语

经过多年的努力,我国的载人航天工程逃逸安控系统已初具规模,但与国外先进技术相比还有一定的差距。因此,必须立足于我国的实际情况,进一步分析研究地面逃逸安控系统关键环节的可靠性,提出切实可行的方法和措施,努力提高该系统完成任务的能力,为后续载人飞行任务的圆满完成奠定良好的基础。

参考文献 (References)

- [1] 曾声奎,赵延弟,张建国,等.系统可靠性设计分析教程[M].北京:北京航空航天大学出版社,2004:227-235.
- [2] 贾永年,吴孝忠,杨晓斌,等.测控计算机与监视显示系统[M].北京:国防工业出版社,2000:4-9.
- [3] 郑人杰.实用软件工程[M].北京:清华大学出版社,2004:51-53.

(责任编辑:王高翔)