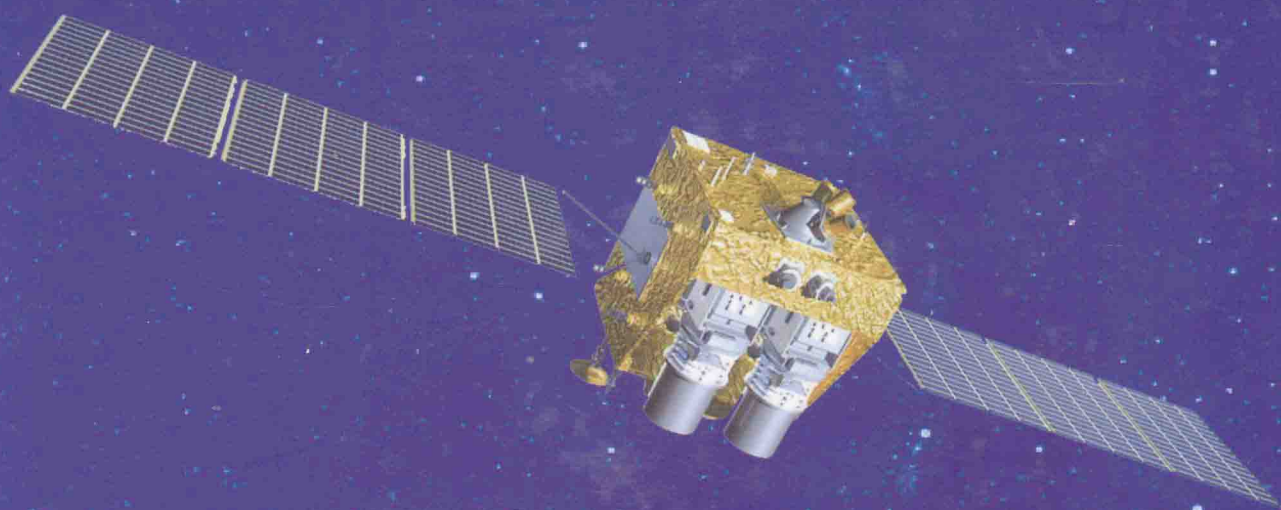




中国现代小卫星 技术发展研究论文集

《中国现代小卫星技术发展研究论文集》编委会 组织编写



中国宇航出版社

014957624

V474.1
05

中国现代小卫星 技术发展研究论文集

《中国现代小卫星技术发展研究论文集》编委会 组织编写



V474.1

05



中国宇航出版社

· 北京 ·



北航

C1742625

950520310

版权所有 侵权必究

图书在版编目 (CIP) 数据

中国现代小卫星技术发展研究论文集 / 《中国现代
小卫星技术发展研究论文集》编委会组织编写. --北京:
中国宇航出版社, 2014. 1

ISBN 978-7-5159-0505-1

I. ①中… II. ①中… III. ①小型卫星—文集
IV. ①V474.1—53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 250837 号

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 250837 号



责任编辑 马 航 赵宏颖 封面设计 文道思

出版 中国宇航出版社

社址 北京市阜成路 8 号 邮编 100830
(010)68768548

网址 www.caphbook.com

经销 新华书店

发行部 (010)68371900 (010)88530478(传真)
(010)68768541 (010)68767294(传真)

零售店 读者服务部 北京宇航文苑
(010)68371105 (010)62529336

承印 北京画中画印刷有限公司

版次 2014 年 1 月第 1 版

2014 年 1 月第 1 次印刷

规格 880 × 1230

开本 1/16

印张 31.25

字数 968 千字

书号 ISBN 978-7-5159-0505-1

定价 258.00 元

本书如有印装质量问题, 可与发行部联系调换

《中国现代小卫星技术发展研究论文集》

编委会

主 任 白照广

编 委 (按姓氏笔画排序)

王丽丽 王国良 刘锐梅 刘冬妹

李孝同 李松明 李祖洪 李延东

张晓敏 张立华 张润宁 张永维

陈钦楠 陈逢田 赵志明 赵 键

袁仕耿 崔玉福

序

小卫星技术及应用已经成为当今国际航天重要的发展领域。中国现代小卫星的发展始于20世纪90年代,经过十几年发展,小卫星研发理念、思路、技术及发展规模发生了根本性变化,小卫星已从轻小型到与微纳型协同发展。卫星功能、性能不断提升,已从低精度向高精度发展。参与部门从以工业部门为主到工业部门与大学、科研院所协同发展的产、学、研结合状态。卫星应用也从科学研究向业务实用型转变,从单一到多用途方向深入,目前我国微小卫星在轨数量近50颗,占全国在轨卫星数量的50%左右,已在遥感、科学探测、技术试验、公益教育等方面发挥了重大作用,成为我国国民经济建设和国防建设中不可缺少的力量,体现了小卫星的大作为。

总结小卫星的发展,技术创新无疑是小卫星发展不竭的动力。通过技术创新将集成设计、柔性设计、星座设计、微小型技术、MEMS技术、软件化技术等先进技术融合于小卫星的研制对小卫星发展起到了巨大推动作用,展望未来,技术创新仍将是小卫星发展的推动力,大学、科研与工业部门协同仍将共同促进小卫星技术与应用的发展。小卫星技术和应用能力提升必将得到持续稳定的发展。随着日新月异的技术发展和卫星应用需求的不断增加,小卫星的发展任重道远。

本论文集汇集了国内38家单位77篇论文,展示了我国小卫星技术与应用的部分新成果,探讨了小卫星发展新方向,期望它能够鼓舞我国从事小卫星事业的工程技术人员和专家、学者奋发进取,不断将我国小卫星技术及应用推向一个新高度。

中国科学院院士 王希季

2013年10月

前 言

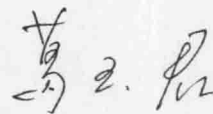
金秋十月，春华秋实，在这个收获的季节里，凝聚着我国小卫星科研人员智慧和汗水的《中国现代小卫星技术发展研究论文集》终于与读者见面了，这本论文集作为“2013 年小卫星技术交流会”的主要成果之一，共收录优秀论文 77 篇，涵盖了空间技术创新与探索、小卫星未来发展展望、小卫星系统工程、小卫星专业技术、小卫星载荷与应用技术等，在一定程度上代表和体现了目前国内现代小卫星技术领域的科技创新成果和水平。

创新是小卫星事业发展的灵魂，而技术交流活动则是促进创新工作的重要手段，本次由航天东方红卫星有限公司和《航天器工程》、《国际太空》、《卫星应用》、《中国空间科学技术》联合举办的“2013 年小卫星技术交流会”，正是以“创新与未来”为主题，旨在通过思想的碰撞，激发出灵感的火花，从而进一步营造勇于创新的氛围，促进小卫星技术的创新和发展。

本次活动得到了各单位的鼎力相助，这既是对公司小卫星事业的支持，同时也是对公司后续更好更快发展的鞭策。在本书的整理、编辑、校对和出版过程中，作者的辛勤耕耘以及公司科技委领导和专家的大力支持起到重要的推动作用，在此一并表示感谢！

后续，公司将和所有关心和支持小卫星事业的同仁一道，始终牢记富国强军的神圣使命，不断促进小卫星技术的创新和发展，为续航天梦、筑强军梦、圆中国梦，为航天强国建设再立新功、再铸辉煌！

航天东方红卫星有限公司总经理



2013 年 10 月

目 录

第一部分 研究与设计

小卫星可用性设计要求初步分析	李延东/3
新型敏捷卫星任务操控模式的研究和应用	赵键 杨芳 孙峻 王抒雁 谢松 李超 /9
高分一号卫星研制及技术特点	白照广 陆春玲 李长俊 张可立 吕大旻 邱国栋/14
委内瑞拉遥感卫星一号研制及技术特点	崔玉福 赵键 李志壮/20
卫星集群操控关键技术综述	刘军 李晶 余培军 吴功友 安源/26
太阳帆在深空探测中的应用及初步任务设计	王立 刘宇飞 黄小琦 杨辰 成正爱/31
基于相对轨道要素的椭圆轨道卫星相对运动	韩潮 殷建丰/37
小卫星编队构型最优控制技术研究及仿真	陈祥 倪涛 徐毅/47
基于终端滑模的多航天器编队飞行的协同一致控制	吕鑫 刘向东/53
基于平均相对运动方程的小卫星编队特性分析	车汝才/58
敏捷成像卫星智能规划技术研究	董云峰 赵文/64
体系工程视角下的小卫星系统分析、设计与验证	贺仁杰 姜江 刘晓路 邢立宁/70
基于 SpaceWire 路由器的有效载荷信息管理系统架构研究	马文杰 李延东 贾涛/77
多星在轨自主分离技术研究	秦江 韩冬 邹轶群 王建冈 刘一薇/84
自寻目标的照相卫星原型研究	李孝同/90
基于小卫星的高能带电粒子探测	王焕玉 卢红 徐岩冰 安正华 石峰 李新乔 孟祥承 马宇倩 /97 王辉 于晓霞 吴峰 赵小芸 蒋文奇 王平 周大卫
智能化轻型遥感载荷设计与关键技术研究	王翀 邢飞 孙婷 尤政/103
Tone error, Twangs, Spikes 对卫星重力场测定的影响	薛大同/108
卫星观测原位等离子体参量时空演化特征分析	张学民 刘静 黄建平 申旭辉 姚璐 袁桂平/116
毫 K 级高精度温度控制方法研究	程文龙 宋嘉梁 徐志明/121
一种全新的卫星多光谱影像高精度频段配准与精度评价方法	王密 朱映 杨博/127
敏捷卫星角方位元素对单线阵 CCD 相机立体成像定位精度影响分析	孙峻 赵鸿志/132
利用 KBR 系统对静电加速度计在轨标定算法研究	辛宁 邱乐德 张立华 丁延卫/138
DS/FH 通信技术在卫星组网中的应用研究	许利 湛明 田金超/144
JPEG2000 算法对不同分辨率遥感图像的影响分析	叶晖 李博 魏致坤 路同山 王金华/150
高速光纤网络在卫星中的应用方法	伍保峰/156
面向小卫星星座的星上自主健康管理技术研究	付重 李志刚 李国军/162

浅议微小卫星综合电子系统的设计方法	李璟璟 李向阳/168
实践九号 B 卫星供配电设计特点与在轨验证	鄢婉娟 彭健/173
基于 ARM 技术和新型电池的能源设计优化	李志壮 张艳萍 段宝罡/179
微小卫星先进电气互连技术及实现	苒群峰 杨斌 林若 姜伟/184
低轨道高比功率 PCDU 设计	王锴 王保平/190
卫星在轨运行电源系统设计与分析	廖瑛 张志/198
卫星扩频应答机自主健康管理设计方法研究	郑君丽/206
MEMS 技术在微小卫星中的应用	朱健/211
低功率霍尔电推进技术在小卫星领域的应用	康小录 杭观荣/218
一种航天器阻尼补偿离子电推进方案研究	杨福全 江豪成 贾艳辉 郑茂繁/225
磁悬浮飞轮对卫星姿态控制稳定性的影响分析	刘虎 房建成 孙玉龙/233
微型飞轮永磁电机的优化设计与实验研究	赵静 卢恒在 刘向东/240
基于“一致性”时变滑模的多组卫星姿态并发同步与跟踪控制	路平立 郭耀华 刘向东/248
高分一号卫星热控设计特点及在轨表现	刘庆志 易桦 范庆梅 黄金印/256
一种红外地球敏感器受太阳干扰范围的几何分析方法	蔡建 宋利芳 蒋庆华/263
小卫星高稳定结构微变形测量技术研究与应用	王国忱 杨凤龙/268
记忆合金减振在小卫星上应用的初步研究	邓卫华 包锦忠 扈勇强/274
卫星系统级传导兼容性分离测试验证方法研究	杨争光 阳彪 王韶波 章雷 徐军/280
小卫星星上测控通用软件框架设计	刘朋 施思寒/286
基于 Petri 网的卫星测控调度算法研究	孙骥 高骥 李响/293
一种数字化卫星仿真系统设计	闫国瑞 赵婷 李志刚 史简/299

第二部分 卫星应用

我国在轨海洋卫星现状及应用	刘建强 蒋兴伟 林明森/307
环境一号卫星环境应用技术与业务运行	张峰 吴艳婷 赵少华 李营 刘思含 翟俊/314
高分卫星数据农作物面积遥感识别研究	刘佳 王利民 欧阳斌 滕飞 周强 王小龙/319

第三部分 发展与探讨

商业遥感小卫星发展的思考	罗鹰/327
美国“战术星”系列小卫星发展研究	张春阳 沈齐 吴洪 曹郁 郭俊/334
寻找另一个地球——亮星空间巡天(BSST)计划 周济林 王力帆 朱永田 孙义燧 张辉 刘慧根 吴雪峰 袁祥岩/339	
天基编目轨道精化纳卫星星座设想	肇刚 李恒年/344
数据链在小卫星上的应用发展	袁基炜 张志芳 何宏伦 王少伯 胡红 易春宏/351
重力梯度测量卫星的超静设计与实现思路探讨	胡凌云 丁延卫 张立华/356
小卫星光学载荷新技术	张新 曲贺盟 张继真 伍雁雄 王灵杰/361
高分辨率凝视型热成像技术发展	赵劲松 刘传明/368
GNSS-R 海洋遥感技术发展趋势及星载应用	仇跃华 金彪 李烨/373

目 录

小卫星有效载荷架构关键技术新探	张守娟 马晓东 郝修强/380
卫星时间统一系统研究进展	金仲和 姜延年 金小军 张朝杰/384
小卫星星载信息系统技术发展及其设想	施思寒 李志刚 李孝同/390
小卫星 S 频段应答机发展历程与展望	施伟 陈鸿义/396
微推进技术发展及卫星应用	汤海滨 任军学/400
小卫星领域电推进应用展望	张天平 孙明明 龙建飞 周昊澄/407
应用于主动式空间碎片清理系统的立方体星系统设计	魏然 曹鲁英 江炜 陶礼炫 夏小东 田金光/414
空间生物学纳卫星在轨演示验证技术研究	
.....	廖文和 陈敏 杨有泉 邓素芳 张翔 于小康 李亮/420
快速响应卫星电源系统设计初探	钱斌 何小斌/427

第四部分 测试与试验

小卫星力学环境条件与试验的几个问题	杨新峰 扈勇强/437
“天巡一号”卫星星务软件故障管理及测试	陈志明 刘海颖 叶伟松/444
等效辐射温度模拟试验技术	郝殿福/450
基于 FPGA 构架的星务分系统测试设备	林见杰 王旭 李志刚/455
小卫星典型运输特性分析	邹轶群 邓卫华/461
航天器磁性测试技术进展	易忠 肖琦 孟立飞 刘超波/467

第五部分 管理与实践

高分一号卫星研制管理实践与探索	李长俊/475
对外协供方质量管理的方法研究	孙纪文/480

第一部分 研究与设计

小卫星可用性设计要求初步分析

李延东

航天东方红卫星有限公司, 北京 100094

摘 要 针对卫星传统设计要求的不足, 借鉴 IT 领域可用性概念, 结合卫星特殊性, 提出了卫星可用性设计思想, 并从健壮性、易用性、灵活性三个方面对其内涵进行了具体分析和说明。

关键词 可用性; 健壮性; 易用性; 灵活性

1 引言

传统的卫星设计是基于用户研制技术要求所提出的功能性能要求, 在各种约束条件下, 通过任务分析完成功能与性能指标的分解, 并按照可靠性要求开展相关分析设计工作, 最终得到工程化实现方案。随着空间任务多样化、系统复杂化、用户使用模式变化, 传统设计思想和方法越来越暴露出以下不足。

- 常规的可靠性设计以实现系统可靠度为目标, 完全基于硬件单元失效率进行分析, 对于复杂任务和复杂系统并不完全适用, 对实际设计工作缺乏指导意义。比如对于软件、可编程器件的局部故障、软性故障不能准确反映其影响。

- 卫星设计不是面向最终用户, 没有充分考虑应用过程的客观要求。目前的卫星对用户的专业化水平要求高, 对于如何方便用户使用、防止操作出错、限制错误操作危害和影响等考虑不足, 不利于用户实际使用和系统安全。

- 系统实现效率不高。传统的卫星研制针对特定用户的特定要求进行专门设计, 从系统到单机基本属于“定制”, 研发过程占用资源过多, 造成研制周期长, 研制成本高。

针对上述问题, 需要我们站在一般产品或商品角度, 从“能用”、“好用”、“效益”这三个最基本的要求出发, 结合卫星固有特性, 分析如何完善卫星系统设计理念, 提高其可用性。

2 可用性概念分析

2.1 两种含义

可用性概念最早由 IT 领域提出, 有两方面的含义: 一是针对系统健壮性, 如计算机、服务器连续正常工作的能力, 其目标是减少其停工时间以保持其服务的高度可用性; 二是针对软件设计、特别是人机交互界面设计, 其目标是实现“对用户友好”。

2.2 含义一

GB/T3187-97 对可用性的定义是: 在要求的外部资源得到保证的前提下, 产品在规定的条件下和规定的时刻或时间区间内处于可执行规定功能状态的能力。它是产品可靠性、维修性和维修保障性的综合反映。

计算机系统的可用性定义为: $MTBF / (MTBF + MTTR) \times 100\%$ 。其中 MTBF 为平均无故障工作时间, 用以度量系统可靠性; MTTR 为平均维修时间, 用以度量可维护性。

为实现计算机系统的高可用性 (High Availability), 需要进行专门的设计。统计数据表明, 造成非预

期故障的因素并非都是硬件问题。硬件问题只约占 40%，软件问题约占 30%，人为因素约占 20%，环境因素约占 10%。因此，高可用性系统应在设计中考虑上述所有因素。业界通行的做法是采用群集系统 (Cluster)，即选用合理的系统架构，将各个计算机、服务器通过网络有机地组成一个分布式的群体，合理分配各计算机上运行的服务，共同对外提供服务，并消除各种单点故障（如供电、磁盘、网络接口等），以保证服务的连续性。

2.3 含义二

国外一些著名软件公司早在 20 世纪七八十年代就已经意识到软件可用性的重要性，并且开始进行这方面的研究和实践。IBM 公司在 1970 年就引入了可用性测试，微软公司在 1988 年也开始进行可用性测试，从而保证了其软件产品不仅具有强大的功能和稳定的性能，而且具有很强的可用性，能够为多数人所接受。国内可用性研究起步较晚，近年来软件可用性的概念正逐步为业界所了解、接受，并在软件开发中不断得到应用和发展。

业界公认权威雅克布·尼尔森认为实用性 (Utility) 和可用性 (Usability) 构成了系统能否用来达到目标的因素，称为有用性 (Usefulness)。其中可用性定义为“用户能否很好地使用系统的功能”，包含五个属性：易学性、效率、可记忆性、容错（低错误概率且容易恢复）和满意度。此外，他针对网页设计提出了著名的“十条评价原则”，即：状态可见原则、环境贴切原则、撤销重做原则、一致性原则、防错原则、易取原则、灵活高效原则、易扫原则、容错原则、人性化帮助原则。

可用性工程是一门在产品开发过程中、通过结构化方法提高交互产品的可用性的新兴学科，包括一整套工程过程、方法、工具和国际标准，核心是以用户为中心的方法论 (user-centered design - UCD)。“可用性”的概念有以下典型描述：ISO9241/11 的定义是“一个产品可以被特定用户在特定境况中，有效、高效并且满意达成特定目标的程度”；ISO/IEC9126-1 的定义是“在特定使用场景下，软件产品能够被用户理解、学习、使用以及吸引用户的能力”。

归纳而言，可用性是指产品在特定使用环境下为特定用户用于特定用途时所具有的有效性 (Effectiveness)、效率 (Efficiency) 和用户主观满意度 (Satisfaction)。其中：

- 有效性——用户完成特定任务和达成特定目标时所具有的正确和完整程度。
- 效率——用户完成任务的正确和完整程度与所使用资源（如时间）之间的比例。
- 满意度——用户在使用产品过程中所感受到的主观满意和接受程度。

可用性设计就是在以用户为中心的宗旨下，进行产品的设计，以使产品满足功能需要、符合用户行为习惯和认知，同时能够高效愉悦地完成工作任务和工作，达到预期的目的。实际上，可用性就是从用户角度所看到的产品质量，因此是产品竞争力的核心。

3 小卫星可用性设计要素

3.1 内涵说明

卫星作为一种产品，应以用户为中心、围绕用户实际使用要求进行设计。同时，卫星作为一种不可在轨维修的高价值产品，又具有一些普通产品所不具备的特殊要求。通过对其共性和差异性的分析，可以把卫星的可用性定义为“健壮性、易用性、灵活性”。

3.2 健壮性

常规的可靠性设计完全基于硬件单元的失效率进行相关分析，但对于一个复杂系统，所使用的元器件种类繁多，故障模式呈现多样化，概括而言主要有四种：一是失效，即功能永久性丧失；二是中断，即功能暂时性丧失，但可通过适当的措施完全恢复；三是降低，即实际性能降低到了正常额定性能之下；

四是错误,即计算、处理等结果不正确。健壮性设计的目标就是避免这些故障发生,并在故障发生后避免或限制其对系统功能的影响,具体包括以下5个方面。

3.2.1 避免功能单元失效

这是健壮性设计最基础的部分,是指在有效的质量保证工作前提下,通过采取合理的设计措施,确保星上元器件、原材料、部组件等工作在合适的环境、工况等条件下,即通过限制各种应力来保证其工作可靠性。

(1) 环境适应性

能够适应使用环境的系统才可能是一个可靠的系统。环境适应性设计是指在对航天器各任务剖面所经历环境进行全面分析识别的基础上,通过采取必要的环境防护设计措施,保证航天器不会因为环境因素而降低其完成任务的能力和可靠性。

(2) 降额和余量

应围绕“性能符合性、环境适应性、接口匹配性、设备安全性”四个方面在单机内部进行充分的降额和余量设计,如:元器件使用应力降额设计,设备及模块间电性接口余量设计,设备物理特性余量保证,设备环境适应性余量,性能参数余量等。

3.2.2 避免功能单元失效影响系统功能

其核心是通过采用合理的冗余设计,消除影响系统功能的单点失效环节。必须对系统和单机的单点失效环节进行充分识别,在此基础上针对各环节制定有效的控制措施。应采用故障模式与影响分析(FMEA)方法在设备和系统两个层面进行。原则上,对星上各重要功能均应进行冗余设计,以避免单点失效风险,冗余度则需根据系统要求和具体状态进行确定。冗余方式必须最大限度降低相互之间的耦合度,并特别关注电源隔离设计、冗余单元的可测试性、共因故障、潜通路等环节。

3.2.3 功能中断的检测和恢复

对于CPU、DSP、FPGA等器件,软件设计缺陷、空间环境效应、内外部干扰等可能会引起其运行异常并导致系统或单机的某些功能暂时性丧失。但这些器件并未发生永久性失效,只要能够及时准确地检测到异常并采取适当的处理措施,就能够完全恢复正常状态。为此,系统运行状态必须可观测可控,并在此基础上进行故障的检测、隔离与恢复。

(1) 状态可观测性

状态可观测性包括以下两方面的含义:一是系统和单机的可测试性,即在设计阶段就应充分考虑如何进行完备的测试,设置必要的检测资源,以保证对系统和单机各功能、性能指标、外部和内部接口状态、内部硬件功能模块或元器件状态、软件功能模块等的测试覆盖性;二是系统和单机所设置状态监测参数的充分性和真实性,以便能及时准确掌握卫星运行状态。

(2) 状态可控性

状态可控性是指系统和设备状态的可确定性,这也是保证系统和单机可靠和安全的基础,需要关注以下环节:系统和单机必须有确定的初始状态;可通过外部控制措施把系统和单机强制恢复到初始状态或设置为特定状态;在确定的输入激励和当前状态下,系统和单机状态的迁移结果必须是确定而且唯一的;应在设计中保证不会出现非法或不安全的状态;在非正常模式下,必须保证各单机的状态能够被正确设置,以保证系统状态的确定性。

(3) 故障检测、隔离与恢复(FDIR)

应采用分级监控的系统架构,在系统和单机两个层面进行故障的检测、隔离与恢复操作。系统级FDIR应是总体的关注重点,其含义是指综合利用星上测控资源,以某设备或分系统作为被监控对象,由上级(如综合电子系统的管理计算机)根据被监控对象的运行状态及其他相关状态,对其健康情况进行判断,必要时自主进行干预,以保证其连续正常运行。

3.2.4 避免或限制性能降低对系统能力的影响

其核心是全面准确识别影响系统能力的关键指标,并在此基础上进行合理的裕度设计。应根据系统级功能性能指标体系梳理结果,围绕“使命实现、任务保障、环境适应、系统兼容、整星安全”5个方面开展分析,确定系统级关键设计指标及其裕度要求,如:载荷指标实现裕度,通信信道裕度,供配电裕度,温度环境裕度、结构机构的强度、刚度、力矩等裕度,力学环境及响应控制裕度,姿态控制稳定性裕度,燃料裕度等。

3.2.5 错误屏蔽

为避免局部的错误处理结果对全局造成影响,应在系统中分层次采用容错设计。容错是指利用资源冗余配置(包括硬件资源、软件代码资源、时间资源、信息资源等)并采取针对性的处理策略,在系统和单机局部发生瞬时或永久性的错误或故障情况下,自主隔离故障和错误状态,保证系统和单机工作正常、输出正确。容错设计是应对系统和单机受到内部和外部干扰、空间单粒子效应影响、硬件局部故障、软件异常的重要措施。

实现容错可采取多数表决机制、纠错编码技术、基于先验知识的合理性判决等多种方法。在系统和单机设计时需要根据总体任务要求和FMEA分析结果来判定采用容错设计的必要性,在此基础上优选容错设计方案。进行容错设计需重点关注共因故障分析、冗余模块之间的独立性、容错功能的测试验证方法等。

上述健壮性设计相对常规的可靠性设计,其要求和方法更加全面、系统和规范。同时,也为实现系统健壮性提供了更为灵活的解决思路和方法,可以根据具体的任务和系统特点优化选择合理的设计方案以实现最大效益,比如:基于部分质量等级较低、对空间环境敏感的元器件,采用充分的加强和防护措施后,仍然可以实现强健壮性的系统。

3.3 易用性

随着卫星应用范围的不断扩大和数量的不断增加,卫星用户和操控管理人员将不再是传统的专业人员,民用和商用卫星将逐步以各领域、各行业的客户为直接用户,战术卫星则将以一线作战部队为直接用户。因此,卫星设计必须面向最终用户使用,需要提高使用的便捷性,并避免不当操作对卫星造成危害。

3.3.1 自诊断及告警

为掌握在轨卫星工作状态,需要设置充分的遥测参数,一颗卫星的遥测参数往往数以千计。但隔行如隔山,即使是专业人员也仅能掌握其中部分参数的含义。因此,目前都是由总体组织各分系统专业人员对卫星状态进行联合判读分析。而作为卫星的最终用户,则希望能够随时了解卫星的健康状态,他们关心的是结果而不是过程。因此,卫星应当具有内嵌的在线测试和在线分析能力,能够直接把自诊断结果通报给用户,并在出现异常时给出直观的告警信息。

3.3.2 封装

封装的目的是把复杂操作简单化,并避免错误或不当的操作。对复杂操作(比如时序要求严格的指令序列、一旦出错会导致严重后果的控制数据等)进行封装,不对卫星用户开放,对用户只提供封装后的简单操控指令。如目前东方红公司各型号在星务软件设计中普遍采用的相对程控指令,就是一种简单而有效的封装,不仅降低了用户编制控制数据的难度和工作量,而且大大降低了对遥控注入量的要求,并避免了因控制不当而影响系统安全。

3.3.3 非法操作屏蔽

卫星应当具有较为完善的自我保护性设计,避免非法操作对系统安全造成影响。卫星不应无条件地执行用户操作,即在某种状态下只允许在一定范围内接受某些操作。因此,卫星需要对上注的控制指令

和数据进行合法性分析和判断,并自动拒绝执行非法的操控命令,拒绝接受超限的装订参数。

3.3.4 一键恢复

即使采取了较充分的防护性设计,也不能完全保证卫星不进入非预期的异常状态,而非预期异常状态可能产生的后果往往具有较大的不确定性,因此必须及时进行处理和纠正。地面系统一般可以采用断电重启等措施进行恢复,但卫星不允许这样处理,而是应当设置简单的全局恢复指令,由星务系统自主完成对星上各设备的状态配置,强制卫星进入一个事先确定的状态,以保证卫星的安全。

3.4 灵活性

其目的是通过系统设计,使系统能够在一定范围内较好地适应于不同的任务,以提高系统开发效率,降低开发成本。

3.4.1 可配置能力

系统应当具备通过对硬件、软件的配置,可在一定范围内适应不同任务要求的能力,这样就能够保持系统和主要功能模块基本技术状态的稳定。具体配置对象包括:系统功能模块组成、系统运行参数、载荷和整星工作模式、星上软硬件状态、处理算法、通信协议等。可配置性不仅有利于系统研发任务的高效完成,而且可使系统具备一定的在轨任务重构能力,有利于最大限度地发挥系统效能。

3.4.2 宽适应性

主要指系统和平台对轨道参数、载荷配置等状态变化的适应能力,必须在系统设计伊始就明确具体的目标和要求。比如,东方红公司某星座具备对任意倾角、任意降交点地方时轨道的适应能力,为后续多组星座的灵活组网带来了极大的便利;正在开发的 CAST4000 快响平台采用了能力包络设计理念和相关技术,可以很好地适应不同载荷(光学遥感、微波遥感、电磁探测等)、不同轨道、不同运载等多种状态,具备了“以不变应万变”的能力。

3.4.3 快速系统集成能力

为实现快速系统集成,一方面,需要采用即插即用等新技术,制定标准化的接口和协议并在此标准约束下研制星上各功能单元和设备,实现卫星平台的通用化,并简化系统集成工作;另一方面,需构建标准化的载荷硬件平台架构,采用组件模块化技术和软件重构技术,实现有效载荷的快速生产、快速组装和快速调试,缩短有效载荷研制周期,降低研制成本。

4 结束语

现代小卫星发展方兴未艾,新概念、新技术、新应用不断涌现,作为卫星总体研制单位,必须与时俱进,始终保持开放进取的积极态度,不断提升空间产品的核心竞争力。可用性作为小卫星的一项关键属性,体现了以用户为中心的设计思想和空间复杂系统的特殊性,后续有必要进一步开展相关分析和研究工作,使其逐步完善和规范。

参考文献

- [1](美)雅克布·尼尔森,可用性工程.北京:机械工业出版社,2004.

Primary Analysis To Therequirements Of Usability Design For Small Satellite

LI Yandong

DFH Satellite Co. Ltd. , Beijing 100094

Abstract Contraposing the deficiency of traditional design requirements of small satellite, using the concept of usability from IT industry for reference, considering the particularity of satellite, this paper brings forward the idea of usability for satellite, and gives the concrete analysis and explanation of the meaning.

Key words Usability; Robust; Wielydy; Flexibility

作者简介

李延东,男,1967年出生,研究员,研究方向为航天系统工程和总体设计,电子邮箱:ydlee-cast@vip.sina.com。