

doi:10.3969/j.issn.1001-893x.2014.09.002

引用格式:赵军祥,江炜亮.某型地球同步卫星地面测控管理系统双站融合与互操作设计[J].电讯技术,2014,54(9):1181-1186. [ZHAO Jun-xiang,JIANG Wei-liang. Integration and Interoperations between Two Ground Stations in a GEO Satellite TT&C System[J]. Telecommunication Engineering,2014,54(9):1181-1186.]

某型地球同步卫星地面测控管理系统双站融合 与互操作设计*

赵军祥**,江炜亮

(北京跟踪与通信技术研究所,北京 100094)

摘要:我国出口的商业地球同步卫星其地面测控系统一般由地理上相隔一定距离的两个地面站组成,每个站有一个卫星控制中心(SCC)和基带、链路及天线系统。为了提高地面测控系统的可靠性,减少操作人员,重点研究了两个卫星控制中心、两个地面站的测控(TT&C)设备之间相互融合与互操作问题。提出通过统一两个站 SCC、自动监控系统(MCS)、基带的接口,保持 SCC 数据库同步,实现两个站的融合。在 MCS 的配合下,在遥测、遥控、测距和校零模式下可以实现双站的互操作,每个站的 SCC 可以通过任何一个站的基带、链路及天线接收下行遥测数据,发送上行遥控和测距信号。所提出的双站融合与互操作设计在多个出口卫星项目地面测控系统中得到应用,降低了系统运行的成本。

关键词:地球同步卫星;测控站;卫星控制中心;融合;互操作

中图分类号:V556.6 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-893X(2014)09-1181-06

Integration and Interoperations between Two Ground Stations in a GEO Satellite TT&C System

ZHAO Jun-xiang,JIANG Wei-liang

(Beijing Institute of Tracking and Telecommunications Technology, Beijing 100094, China)

Abstract: In general, the TT&C system is composed of two stations separated on geographical positions for the foreign commercial Geostationary Earth Orbit(GEO) satellites exported from China. Each station includes a satellite control center(SCC), baseband equipment(BBE), RF links and antenna. In order to improve the reliability of ground control system and decrease the operator number, it is necessary to make integrated design for two independent stations. This paper brings forward that two stations are integrated together by means of designing the interface of SCC, monitoring and control system(MCS) and BBE used in two stations and keeping two stations' SCC database synchronous. Under the cooperation of MCS, the interoperations between two stations are achieved in different working mode of telemetry, telecommand, ranging and calibration. Each SCC can receive telemetry data, send telecommand and ranging signal to satellite through any BBE, RF link and antenna in two stations. The design method of two stations' integration and interoperation has been implemented in many satellites exported from China and the system running cost is decreased clearly.

Key words: GEO satellite; TT&C station; satellite control center; integration; interoperation

* 收稿日期:2014-05-20;修回日期:2014-08-25 Received date:2014-05-20;Revised date:2014-08-25

** 通讯作者:13811781749@139.com Corresponding author:13811781749@139.com

1 引言

地面测控管理系统担负着对卫星轨道和姿态进行跟踪测量,确保星上设备正常运行的重任。目前,我国的卫星测控主要基于 C/S 频段的航天测控网,由渭南、厦门等多个测控站和西安卫星测控中心组成^[1]。经过多年建设,系统具有很高的可靠性,可以同时完成多颗卫星的测控任务。美国的航天测控网包括几个专用的卫星控制网,其空军的卫星控制网包括两个指挥控制中心和 8 个测控站,每个中心通过通信系统与各测控设备连接,既可独立运行,又互为备份^[2]。

对我国出口到国外的商业地球同步卫星,其配套的地面测控管理系统也由我国承建。考虑到异地容灾备份需求及防止敌对攻击,一般建有两个地面测控站,每个站由卫星控制中心 (Satellite Control Center, SCC)、基带 (Baseband Equipment, BBE)、链路和天线系统等组成,以确保测控系统的可靠性。卫星控制中心设置在测控站内,这样每个站都可以独立完成卫星的遥测遥控和测距定轨任务。两个站之间建有专门的通信链路,以实时进行信息交换。

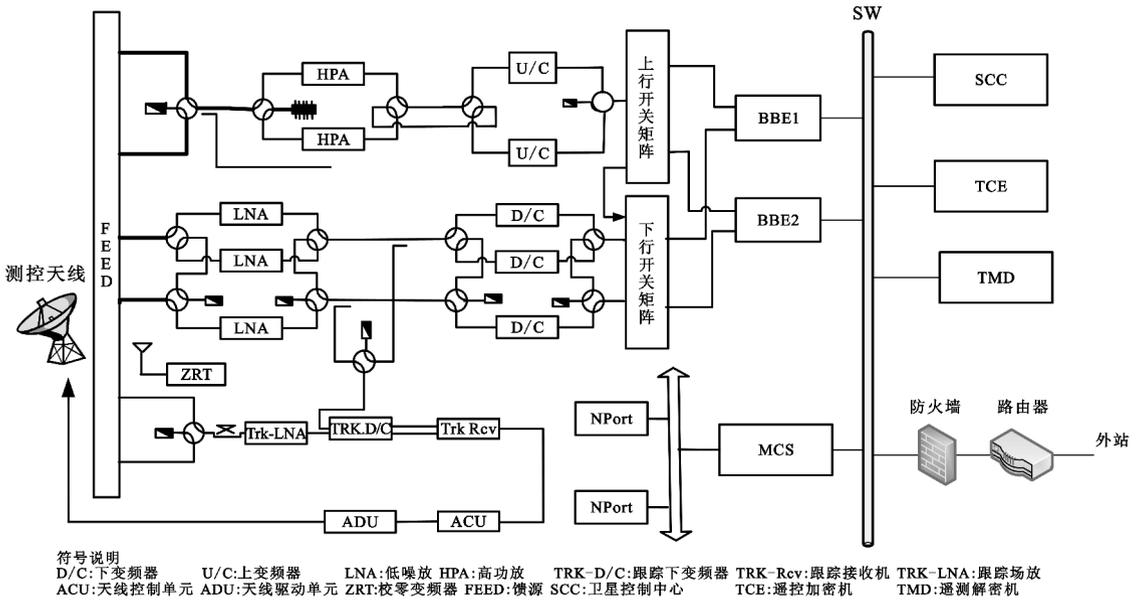
这种设计与我国卫星测控系统一个中心、多个测站的体制不尽相同。对双站进行融合设计,实现站间互操作,提高测控平台的冗余度,在应对自然灾害和人为恶意攻击等情况下保障卫星控制及重大故障的处理有重要意义^[3-4]。本文重点从减少地面站操作人员、提高地面系统可靠性的角度,讨论双站的融合与互操作问题。

2 地面测控管理系统的组成及工作原理

2.1 系统组成

地面测控管理系统通常由主备两个地面站组成,每个站主要有 SCC、测控天线及上下行链路、中频开关矩阵、基带和时频设备等。为了提高测站的自动化操作水平,还建有自动监控系统。部分卫星为了节省成本,只在主站建有 SCC,备站只有 TT&C 设备。若整个系统有遥测和遥控加密需求,地面站还需要配置遥测解密机 (Telemetry Decryptor, TMD) 和遥控加密机 (Telecommand Encryptor, TCE)。

一个典型的地面测控站组成见图 1^[5]。



符号说明
 D/C:下变频器 U/C:上变频器 LNA:低噪放 HPA:高功放 TRK-D/C:跟踪下变频器 TRK-Rcv:跟踪接收机 TRK-LNA:跟踪场放
 ACU:天线控制单元 ADU:天线驱动单元 ZRT:校准变频器 FEED:馈源 SCC:卫星控制中心 TCE:遥控加密机 TMD:遥测解密机

图 1 地球同步卫星地面测控管理系统地面站组成示意图

Fig. 1 The ground station composition diagram of GEO satellite TT&C system

2.2 工作原理

地面站的作用是接收和处理卫星遥测数据,发送遥控指令、测定卫星轨道和计算卫星控制参数,并按要求对卫星实施控制。

对遥测信号,基带接收和解调天线和下行链路送来的卫星遥测信号,得到遥测数据帧后送 SCC, SCC 处理得到卫星工程参数。对卫星遥控,SCC 发送遥控指令给基带,基带调制后通过上行链路及天

线再发送给卫星。需要测距时,SCC 控制基带发送上行测距音信号给卫星,卫星接收解调后再发送下行测距音信号,基带接收下行测距信号,经处理得到星地距离,送给 SCC 供定轨使用。

地面站通常有以下 4 种工作模式:遥测、遥测+遥控、遥测+测距、遥测+校零。在各种模式,SCC 都负责遥测数据的处理,卫星控制参数的计算、控制策略的制定和对卫星测定轨的规划等,MCS 系统需要依据 SCC 发出的系统工作模式设置相应的设备工作参数,配合 SCC 完成对卫星的监视和控制。

3 地面双站融合与互操作

3.1 双站融合设计

双站融合的目的是实现两站遥测、遥控及外测信息的完全共享,操作人员在任何一站均可方便地完成两个站设备的监控,提高地面测控系统的可用度与易用性,降低运行成本。

为了叙述方便,两个地面站分别用 A 站和 B 站表示。双站融合后 A 站和 B 站具备同样的功能,两个站的 SCC、基带及天线链路能够交叉使用。A 站的 SCC 都能够根据卫星监视与控制的需要,选用 A 站或 B 站基带解调的遥测数据,通过 A 站或 B 站的基带和天线发送遥控指令,完成测距定轨。B 站的 SCC 也必须具备同样的功能,亦即在每一个站部分设备故障情况下,通过两个站设备的组合,得到完整的 TT&C 功能。

双站融合的关键是要确保 SCC 与 MCS、基带之间接口的统一。由于不同的站采用的监控系统、基带设备等可能存在差异,为了保证 SCC 接口的一致性,SCC 对外信息交换采用独立于测站的专用通信协议,在 SCC 和 MCS、基带之间增加接口计算机(Interface Computer, IC),IC 负责完成与 MCS、基带之间的接口协议转换,而 SCC 仅与 IC 进行信息交换。IC 的作用相当于 SCC 和其他分系统与设备之间的桥梁,通过接口计算机,SCC 可以方便地控制任何一个站的设备完成遥测、遥控与测距。对于新增的测站,只要升级接口计算机软件,原来的 SCC 可以调用新站的设备,完成对卫星的测控,新站能够方便地与原有的测控系统融为一体。

两站融合设计要保证信息传递的安全性与可靠性,信息传递流程必须符合卫星安全的要求。对于遥测加密的卫星,为了保证遥测数据站间传输的安全性,两站之间只传输未解密的遥测数据,设计上要

求每站的遥测解密机能够同时对来自多站的遥测数据解密。对于加密的遥控指令,站间不允许传输未加密的遥控指令。遥控指令在站内加密后才能送往另外一个站的基带。

双站融合的另一重要方面是两站 SCC 数据库的同步机制设计。SCC 数据库保存有卫星遥测参数处理、遥控发令、轨道测量数据和卫星控制计算结果等。理论上,不同站之间的 SCC 数据库内容应该保持一致。实际上,受设备运行状态等因素的制约,经过一段时间,两站 SCC 数据库内容会出现差异,部分应保存的数据未同时存入两个站的数据库,为了解决这个问题,需要对两个站的 SCC 数据库定期自动进行数据库同步,通过查看另外一个站的数据库,将未保存的部分补充完整。

3.2 站间互操作

通过双站融合设计,统一了双站对外接口及信息传递的流程,为站间互操作提供了基础。实施过程中要达到站间互操作必须要保证站间通信的带宽满足信息交互实时性要求,双站的遥外测及设备状态信息能及时互传,为操作人员决策提供必要信息。

站间互操作包括遥测处理、遥控操作、测距与标校和设备监控。

3.2.1 遥测处理

遥测处理的流程见图 2。

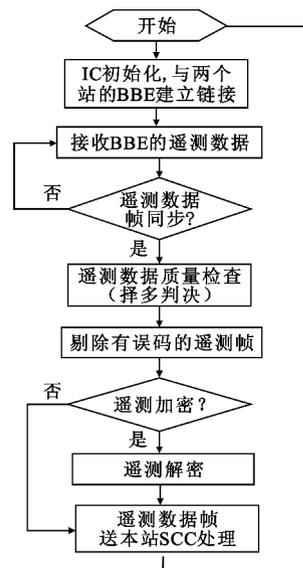


图 2 遥测数据处理流程

Fig. 2 Telemetry data processing flow

在卫星寿命期内,要求对卫星遥测进行 7×24 h 连续监视。每个站的 IC 与两个站的全部基带设备

建立 TCP/IP 连接,接收遥测接收机解调的遥测数据。通常,每个站配有两个基带,每个基带至少有两个遥测接收机,以接收从卫星上不同极化或频点下来的遥测信号。对收到的多路遥测数据流,IC 需要按一定的规则进行遥测数据质量检查,通常按择多判决,剔除可能出现误码的遥测帧,每个站选择 1 路遥测数据送 SCC 进行处理,获取卫星遥测参数的工程值。两站基带只要一个设备工作正常,SCC 就可

以正确处理出卫星的各类遥测参数,保障卫星状态的监视。

3.2.2 遥控操作

一般把发送遥控指令的 SCC 称为主用 SCC。采用双站融合设计后,主用 SCC 把 A 站和 B 站作为同样的站看待,不必区分测控设备在本地站还是在远程站。对发送遥控指令所用设备的选择主要考虑设备的工作状态。遥控指令的发送流程见图 3。

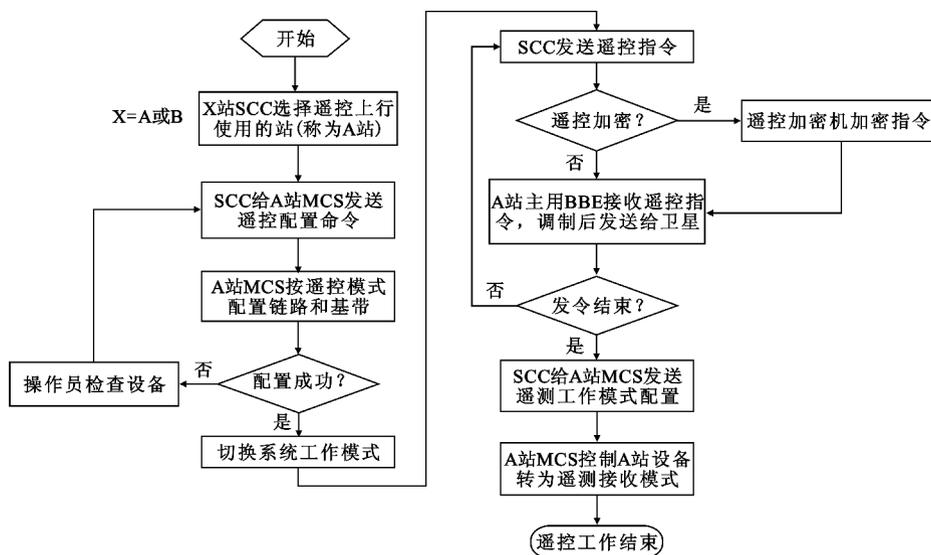


图3 遥控操作流程

Fig. 3 Telecommand operation flow

主用 SCC 操作员根据两个站设备的状态,选择某一个站如 A 站作为发送遥控信号的站,主用 SCC 和 A 站可以不在同一个站。进行遥控作业前,主用 SCC 操作员首先向 A 站 MCS 发送遥控配置请求,A 站 MCS 收到该请求后,配置链路和基带遥控参数,给高功放设备加激励,按一定功率发送遥控副载波信号。配置完成后,系统转为遥控工作模式,主用 SCC 开始启动遥控作业,逐条发送遥控指令给主用基带,基带调制后把遥控信号发送给卫星。如遥控需要加密,主用 SCC 先把指令发给遥控加密机,加密机加密后再发送给基带。全部指令成功发送后,遥控作业结束,之后主用 SCC 向 A 站 MCS 发送遥测配置请求,MCS 将关闭上行功率,系统转为遥测监视工作模式。

为了保证两个站工作人员能同时监视遥控指令的发送和执行情况,必要时另外一个站接手遥控操作,本站 SCC 发送指令时,要同时把发送的遥控指令代号、大环比对结果和星上执行情况等遥控摘要信息发送给另外一个站。

3.2.3 外测数据的处理

为了提高定轨精度,同时缩短测轨时间,一般要使用两个站的测距测角数据。每个站的 MCS 收到本站 ACU 发送的测角数据后,同时发送给本站和远程站的 SCC。SCC 把双站的测角数据保存至数据库,供定轨时使用。

对卫星测距通常在主用 SCC 控制下按定轨的需求进行测量。A 站和 B 站的链路及基带设备使用不同的上下行频点同时进行测距,测距的操作流程见图 4。主用的 SCC 首先向 A 站 MCS 发送测距配置请求,MCS 收到后配置链路和主用基带的测距参数,给高功放设备加激励,使之可以按一定功率发送上行测距信号。配置完成后,系统转为测距工作模式,SCC/IC 启动基带发送测距音开始测距。主用 SCC 以同样方式启动 B 站的主用基带进行测距。主用 SCC 接收两个站主用基带的相位测量值后,分别扣除各站的地面设备零值及卫星应答机零值,解模糊及进行电波折射误差修正,得到星地距离,保存至数据库供定轨使用。

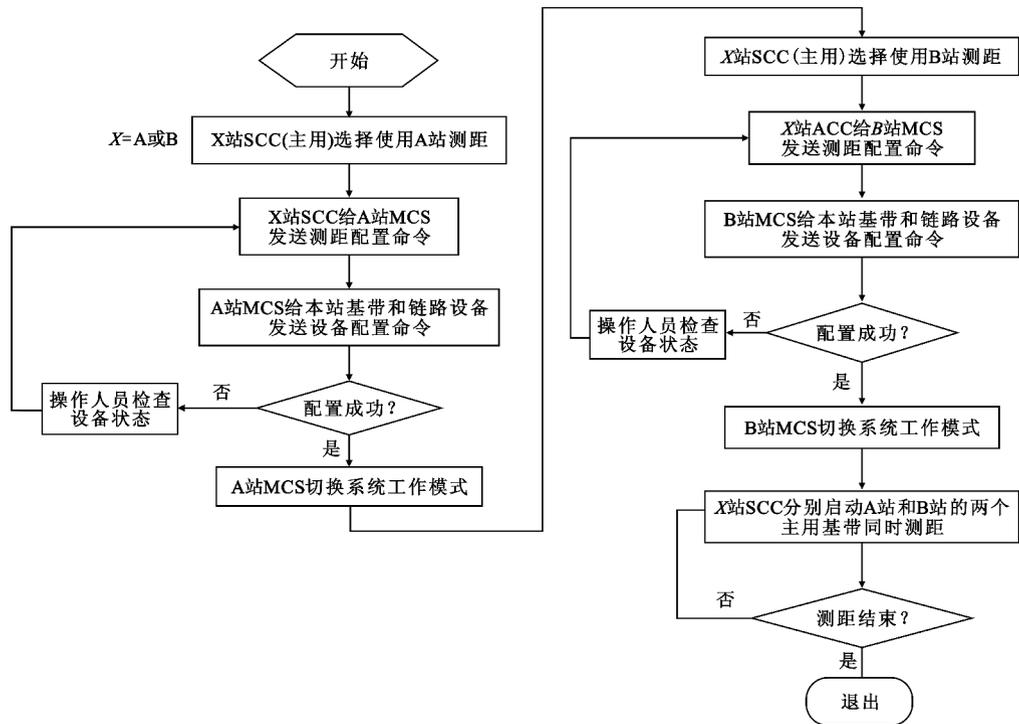


图 4 双站测距操作流程
Fig. 4 Two stations ranging operation flow

为了双站数据库同步,主用 SCC 计算得到的 A 站和 B 站的星地距离,要同时传给另外一个站的 SCC。

3.2.4 地面站距离零值校准

为了得到准确的星地距离,距离测量值必须要扣除地面设备引起的侧音相位延迟,为此要进行地面设备校零。地面设备校零在 SCC 的控制下进行,每个站的 SCC 可以对两个站的设备进行校零,校零结果保存至数据库。

每个站新的校零结果要传给另外一个站,以保持数据库同步。

3.2.5 地面设备控制

双站互操作的一项重要内容就是支持设备的远程操作,即允许 A 站的操作人员通过 MCS 软件远程监视和控制 B 站的设备,根据需要修改另一个站设备的配置参数,反之对 B 站的要求也一样。在设备正常状态下,设备的操作和状态监视可以全部由主站完成,备站值班人员仅需在设备遇到故障时,负责排除设备故障的诊断和修复,实现站的自动化运行。

当然在某些情况下,本站特别是主站的设备状态不容许被另外一个站的操作人员随意修改,MCS 软件需要具备“允许远程站控制”和“禁止远程站控制”的功能。

4 可用度改善

两个站融合前后,系统的可靠性模型分别见图 5 和图 6。

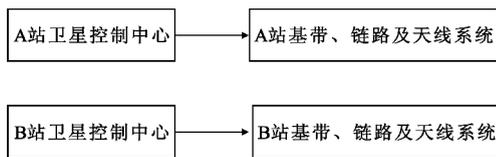


图 5 双站融合前系统可靠性模型
Fig. 5 TT&C system reliability model for two independent stations

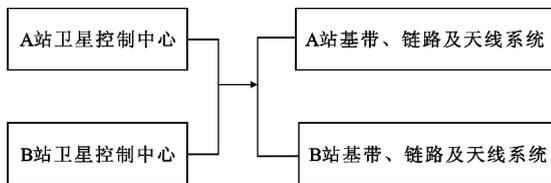


图 6 双站融合后系统可靠性模型
Fig. 6 TT&C system reliability model for integrated two stations

由于 MCS 是辅助的自动化操作手段,其功能完全可由本地手动操作代替,计算系统可用度时未考虑 MCS 的影响。

两个站 SCC 系统、基带链路及天线系统的可靠性认为相等,SCC 系统的可靠度用 R_1 表示,基带链

路及天线系统的可靠度用 R_2 表示。未融合前, 系统可用度

$$R_B = 1 - (1 - R_1 R_2)^2 = R_1 R_2 (2 - R_1 R_2) \quad (1)$$

双站融合后, 系统的可用度

$$R_A = (1 - (1 - R_1)^2) (1 - (1 - R_2)^2) = R_1 R_2 (2 - R_1) (2 - R_2) \quad (2)$$

SCC 设备可靠度计算模型见文献[6], 考虑软件因素, SCC 的可靠度取值 99.9%, 天线、链路及基带的可靠度取值 99.8%, 可以得出 $R_B = 99.9991\%$, $R_A = 99.9995\%$, 可见双站融合后对整个系统的可用度有一定改善。

5 应用实例及取得的效益

采用双站融合与设备互操作设计的地球同步卫星地面测控管理系统设计方案在我国出口的多颗地球同步卫星项目中得到了应用。采用该设计方案带来的最大效益是最大程度地减少了副站地面站工作人员, 卫星操作人员绝大部分可以工作在主站, 副站仅保留少量设备监视人员, 以便能在紧急情况处理设备故障, 降低了系统运行的人力成本, 同时对提高地面系统的可用度也有一定贡献。

6 结束语

本文分析了地球同步卫星地面测控系统双站融合与互操作问题, 对有多于两站的地面测控系统, 站间融合与互操作设计思路也完全适用。目前针对的用户是两个地面站管理一颗卫星, 随着部分国家对卫星通信需求的增强, 用户有发射第二颗、第三颗通信卫星的需求, 要求地面站能够同时管理多颗卫星。在一个站管理多星情况下, 地面设备的配置、设备的管理调度等将和管理单颗卫星存在很大不同。如何改进地面测控管理系统的设计, 完善多星任务的调度管理机制, 更好地满足多星管理需求是需要进一步研究的课题。

参考文献:

- [1] 于志坚. 我国航天测控系统的现状与发展[J]. 中国工程科学, 2006, 8(10): 42-46.
YU Zhi-jian. Status Quo and Development of Spaceflight TT&C Systems[J]. Engineering Sciences, 2006, 8(10): 42-46. (in Chinese)

- [2] 余大勇, 唐太强, 李维晨, 等. 航天测控系统安全分析与控制[J]. 装备学院学报, 2013, 24(3): 81-85.
SHE Da-yong, TANG Tai-qiang, LI Wei-chen, et al. Security Analysis and Control for Aerospace System[J]. Journal of Academy of Equipment, 2013, 24(3): 81-85. (in Chinese)
- [3] 梁文权, 冯书兴. 航天测控对抗在未来战争中的应用[J]. 电讯技术, 2005, 45(2): 23-25.
LIANG Wen-quan, FENG Shu-xing. Application of Confrontation Based Aerospace Measurement and Control in Future Wars[J]. Telecommunication Engineering, 2005, 45(2): 23-25. (in Chinese)
- [4] 张雷, 王建宇, 戴宁. 卫星测控系统的信息融合技术研究[J]. 航天电子对抗, 2007, 23(3): 9-14.
ZHANG Lei, WANG Jian-yu, DAI Ning. Information Fusion Technology of Satellite Measurement and Control System[J]. Aerospace Electronic Warfare, 2007, 23(3): 9-14. (in Chinese)
- [5] 陈爱平, 杨文洁. VENESAT-1 通信卫星测控管理系统及电信港综合建站设计[J]. 遥测遥控, 2013, 34(3): 9-16.
CHEN Ai-ping, YANG Wen-jie. Integrated Design of TTC&M and Teleport System for VENESAT-1 Satellite Program[J]. Journal of Telemetry, Tracking and Command, 2013, 34(3): 9-16. (in Chinese)
- [6] 尚慧萍, 贾颖, 郑慧英. 卫星控制中心系统平台的高可用设计与实现[J]. 飞行器测控学报, 2010, 29(1): 17-21.
SHANG Hui-ping, JIA Ying, ZHENG Hui-ying. Design and Implementation of High Availability SCC System Platform[J]. Journal of Spacecraft TT&C Technology, 2010, 29(1): 17-21. (in Chinese)

作者简介:



赵军祥(1965—), 男, 河北人, 2014 年获博士学位, 现为研究员, 主要从事航天测控总体、测控站设计与建设工作, 作为主要完成人完成过国内外多颗卫星测控系统的建设任务;

ZHAO Jun-xiang was born in Hebei Province, in 1965. He received the Ph. D. degree in 2014. He is now a senior engineer of professor. His research concerns spacecraft TT&C system design and TT&C station construction. He has participated in building many satellite TT&C systems home and abroad as the key member.

Email: 13811781749@139.com

江炜亮(1980—), 男, 江西人, 1996 年获工学硕士学位, 现为工程师, 主要从事航天测控总体、系统集成与测试工作。

JIANG Wei-liang was born in Jiangxi Province, in 1980. He received the M. S. degree in 1996. He is now an engineer. He is engaged in aerospace TT&C system design, integration and test.