

doi:10.3969/j.issn.1001-893x.2013.06.001

适于资源动态重组的测控设备体系结构^{*}

洪 宇^{1,**}, 张 宏¹, 李 娜²

(1. 西安卫星测控中心 宇航动力学国家重点实验室, 西安 710043; 2. 空军工程大学 航空航天工程学院, 西安 710038)

摘 要:资源动态重组能够有效提高航天测控站的运行效益。介绍了我国传统测控设备的体系结构,从优化测控站总体设计的角度入手,设计了适应资源动态重组需求的测控设备的体系结构及其监控管理方式,提出了集中监控管理平台的概念,分析了其功能需求,讨论了需要重点关注的关键技术。所提出的体系结构可供该领域的设计、管理人员借鉴。

关键词:测控站;测控设备;动态重组;体系结构;集中监控管理平台

中图分类号:V556 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-893X(2013)06-0683-05

Monitoring and Control Equipment Architecture for Resources Dynamic Reconstruction

HONG Yu¹, ZHANG Hong¹, LI Na²

(1. State Key Laboratory of Astronautic Dynamics, Xi'an Satellite Control Center, Xi'an 710043, China;
2. School of Aeronautics and Astronautics Engineering, Air Force Engineering University, Xi'an 710038, China)

Abstract:Resource dynamic reconstruction can increase the running efficiency of space tracking telemetry and control(TT&C) station effectively. China's traditional TT&C equipment architecture is introduced. Based on optimizing overall design of TT&C station, the architecture of TT&C equipment which meets the requirement of resource dynamic reconstruction is designed, the conception of centralized monitoring and control platform is proposed, the function requirement of which is analyzed. Key technology which needs to lay stress on is discussed. The architecture presented herein can be useful for those who are engaged in design and management in this field.

Key words: TT&C station; TT&C equipment; dynamic reconstruction; architecture; centralized monitoring and control platform

近年来,随着我国航天发射活动的密集程度不断增加,地面测控网的测控设备数量也不断增加,但是仍然难以满足日益增长的航天器测控需求。为了解决这个现实矛盾,通过对测控资源动态重组的途径来达到测控网(站)运行效益最大化的理念日益受到重视,相关领域的基础技术研究也不断深入。

本文从工程应用的角度出发,在对国内外航天机构测控设备的组成方式进行分析的基础上,以提高测控站的系统可靠性及快速反应能力为目的,设计了适应动态重组需求的测控设备的体系结构,并对此体系结构的工程实现中需要研究的关键技术进

行了讨论。

1 我国传统测控设备的体系结构

在航天测控设备的研制方式上,我国的传统做法是:按“型号”研制,按“套”部署。即,根据某一特定型号测控设备的系统指标和功能需求来确定该型号设备的天馈、发射、接收、基带、时频、标校等分系统的配置,针对该型号设备的配置方案确定内部各分系统的连接关系及机械、电气接口,监控管理软件及其接口则针对该型号的需求专门设计,从而使每套设备均为一个定制系统。

^{*} 收稿日期:2013-03-27;修回日期:2013-05-31 Received date:2013-03-27;Revised date:2013-05-31

^{**} 通讯作者:hongyu0613@163.com Corresponding author:hongyu0613@163.com

• 683 •

在这种体系结构下,设备的主要分系统通常采用 1:1 热备份设计,当在线设备发生故障时,可以快速地切换到备份设备,从而提高了系统的可靠性。实践表明,这种设计模式在多次重大航天测控任务中均发挥了关键作用。但是,在这种体系结构下,随着近年来任务密度的不断增加,只能够通过不断增加成套设备来提高测控网的测控能力,一定的投入并不能在测控网的运行、管理方面取得最佳的效益,具体表现为:

- (1)一套测控系统的可靠性高度依赖于内部各分系统的热备份,同一测控站内隶属不同系统但具有相同功能的分系统不能灵活互换;
 - (2)对同一测控站内,不同的测控系统配有相同功能的配套设备(例如气象、时频、标校等),造成了重复建设,使用效率不高;
 - (3)当某系统需要进行功能升级扩充时,往往需要调整硬件连接关系,并重新开发系统监控软件,研发工作量大。
- 以上问题使得测控站内有限的测控资源不能够得到最大程度的利用,在航天发射测控活动极其频繁的今天,这种体系结构的缺点日益凸显。
- 基于以上问题,通过对测控资源动态重组来达到测控网(站)运行效益最大化的理念日益受到业界的重视,其基本思想是:

- (1)对某一功能模块而言,由一套系统内的 1:1 备份变为测控站内的 $N:M$ 备份,在确保系统可靠性的基础上尽量减少设备配置;
- (2)避免重复建设,将时频终端、测试仪器、数据传输计算机等功能相同、要求相近的设备按全站共用的要求来设计;
- (3)增强设备组合的灵活性,可以快捷地接入新增设备,提高测控站的快速反应能力。

2 资源动态重组的测控设备体系结构

2.1 国外航天机构地面测控站的体系结构

(1)美国 NASA 深空站的组成方式

对于 NASA 的深空测控站,其天线及信道设备作为一个单独系统来配置,中频以下则可灵活接入不同功能的终端设备,所有设备均与位于加州帕萨迪纳的操作中心具备远程监控接口。如戈尔德斯顿站配有 DSS14 (70 m)、DSS15 (34 m HEF)、DSS24 (34 m BWG)、DSS26 (34 m BWG)、DSS16 (26 m) 5 套大型天线,每套天线均配备有不同功能的终端设备,

堪培拉站及马德里站的组成形式与之类似。

(2)欧空局测控站的组成方式

对于欧空局的大多数测控站,天线、伺服、信道、跟踪接收机等设备均划分为前端系统,由前端控制计算机统一管理,一个测控站内可能存在多套前端系统,前端系统与终端系统之间通过开关矩阵连接。其监控管理网络采用了如图 1 所示的结构。在图 1 所示的结构中,前端控制计算机(FEC)、中频调制解调系统(IFMS)及其他设备均接入监控局域网。监控局域网的核心是本地监控服务器,担负对地面设施控制中心和测站各分系统的监控信息汇集分发任务,并通过通信链路位于德国达姆施塔特的地面设施控制中心(GFCC)进行监控信息交换。

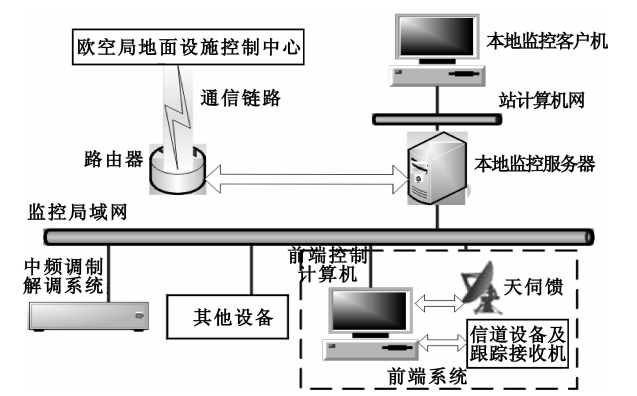


图 1 欧空局测控站监控网络结构
Fig.1 The structure of ESA TT&C station monitoring and control net

另外,瑞典空间公司的基律纳站配备了多套天线及多套终端设备,通过大规模的中频信号开关矩阵实现了多套天线和终端设备之间的灵活组合,并能灵活地接入第三方设备。

从掌握的资料看,NASA 及欧空局的测控站在一定程度上实现了天线和终端设备之间的测控信号传输路由的灵活组合,但均未在系统监控层面上实现站内设备的动态重组。

2.2 资源动态重组的测控设备体系结构设计

目前,我国的测控设备是按天伺馈、发射、接收、基带、监控等分系统来划分的^[1],每个分系统均与监控分系统有信息接口,分系统之间也有各种软件及硬件接口,系统内部物理连接及信息交换关系复杂,明显不适应动态重组的需求。

参考国外相关系统的组成方式,可从全站综合优化的角度来设计测控设备的体系结构,将全站测控设备划分为集中监控平台、前端系统、终端系统、开关矩阵组、公共设备 5 个部分。

(1)集中监控管理平台

取消传统的按套配置的系统监控台,代之以软件功能现场可重组的测站集中监控平台,完成全站测控设备的综合配置管理,适应动态重组及系统功能扩充的需要,避免了以往增加设备即增加操作管理人员的困境。

(2)前端系统

传统的体系结构中,天线控制单元、接收、发射等分系统均直接与系统监控台交换监控数据。在资源动态重组的体系结构中,若维持以上关系,则随着测控站设备量的增加,监控系统的信息交换关系将变得非常复杂。参考国外测控站的结构设计,可以将某个天馈、信道、跟踪接收机的设备组合定义为一个前端系统,前端系统是动态重组的基本单元之一。从简化测站设备的角度出发,可不设置独立的前端计算机,而是在集中监控管理平台中定义一个前端系统监控模块,通过网络接口与前端系统内各设备进行监控信息交换。一个测站内可以配置多套前端系统。

(3)终端系统

将测站配备的综合基带、信号角录等设备定义为终端系统,一个测站的终端系统中可以配备多台终端设备,每一台终端设备均为动态重组的基本单元,并接受集中监控管理平台的管理。

(4)开关矩阵组

从上面的划分可以看出,前端系统与终端设备间的主要接口是中频测控(或数传)信号,开关矩阵组的任务就是完成中频信号的传输路由配置,建立前端系统和终端设备之间的物理连接。开关矩阵组的状态配置由集中监控管理平台统一管理。

(5)公共设备

传统的测控设备为每套设备均配备了时频终端、测试仪器、气象设备、数据传输计算机等设施,造成了重复建设。可将以上设备作为全站的公共设备来统筹建设,由集中监控管理平台统一管理。

需要指出的是,有别于传统设备体系结构的是:传统上,跟踪接收机是作为综合基带的一个模块存在的,跟踪接收机与天馈系统、自跟踪接收信道及伺服系统之间的接口关系比较复杂,可以将跟踪接收机作为一个独立设备配置于前端系统,使得前端系统具备完整的自跟踪环路,避免了将跟踪接收机与自跟踪接收信道及伺服系统之间的复杂接口关系引入动态配置开关矩阵,简化了开关矩阵设计,更有利于实现动态重组的设计目标。

综合以上考虑,对于以动态重组思想设计的测控设备的体系结构可以描述为:测控站以集中监控管理平台为运行核心,配置有多套前端系统、终端设备及公共设备,前端系统与终端设备通过开关矩阵组来实现中频信号的连接。集中监控平台根据跟踪任务计划自动对站内设备进行配置,完成设备组合、参数配置、自动流程运行等工作。适应资源动态重组的测控设备体系结构如图 2 所示。

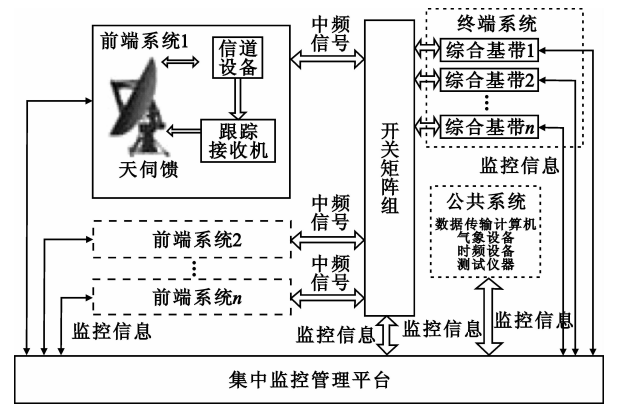


图 2 适应资源动态重组的测控设备体系结构
Fig.2 Structure of TT&C equipment which meets the requirement of resource dynamic reconstruction

2.3 系统可靠性分析

对测控站的系统可靠性进行全面分析比较困难,为简化问题,考虑到前端系统及综合基带设备是测控站中最为关键的两类设备,因此可以从前端系统及综合基带设备对测控站系统可靠性的影响来入手分析。

在传统的测控设备体系下,假设某测控站最多需同时跟踪 L 个航天器,站内配备 M 套测控设备,每套测控设备配备有 2 台互为备份的综合基带。设天馈及信道系统的综合失效概率为 p_1 ,综合基带的失效概率为 p_2 ,则该测控站对 L 个航天器的跟踪功能的失效概率为

$$P_A = p_1^{M-L} p_2^{2(M-L)} \tag{1}$$

在资源动态重组的体系下,假设某测控站内配有 M 套前端系统及 N 套综合基带,综合基带采用软件无线电技术设计,可通过软件加载的方式实现各种测控体制。设前端系统的综合失效概率为 p_1 ,综合基带的失效概率为 p_2 ,则该测控站对 L 个航天器的跟踪功能的失效概率为

$$P_B = p_1^{M-L} p_2^{N-L} \tag{2}$$

令 $N = 2M$,对比式(1)及式(2),则有 $P_B < P_A$ 。
从以上分析可以看出,在设备配备数量相当的

情况下,采用资源动态重组体系结构的设备构成的测控站的系统失效率要低于传统体系结构的测控设备组成的测控站。

在资源动态重组的体系下,对于某些应急测控需求,只要从外部调配的设备满足动态重组的技术要求,即可将其快速接入测控站,与站内其他设备构成完整系统,而无需对硬件连接关系及监控管理软件作大量更动,使得测控站具有较高的快速反应能力,同时也提高了该测控站在测控网内的可用度。

2.4 适应资源动态重组的测控站监控管理方式

在确立测控资源动态重组的体系结构的同时,必须有与之相适应的监控管理方式。传统的针对设备型号的预定功能进行固化设计的监控系统肯定无法满足动态重组的需求,必须采取新的监控管理方式。

在动态重组的场景之下,已经没有传统的系统型号的划分。这样,可以为全站建立一个集中监控管理平台,以此为核心来完成站内测控设备的综合监控,平台主要由两部分构成,一是集中监控管理服务器(或服务组),构成平台的功能核心部分;二是本地(或远程)操作机,主要功能是提供良好的用户界面。集中监控管理服务器的主要功能定位如下:

- (1)完成与各前端系统、开关矩阵组及终端设备的监控信息交换,实现对站内设备的监控功能;
- (2)完成测控设备的任务参数、配置参数、工作计划及组合状态的存储功能;
- (3)完成与远程及本地操作机的信息交换;
- (4)控制站内设备按工作计划自动运行;
- (5)完成站内设备的自动故障诊断及处理。

测站的时频、气象、数据处理、标校等设备应作为公共资源统一配置,也纳入集中监控平台统一管理。适应资源动态重组的测控设备集中监控管理网络结构如图 3 所示。

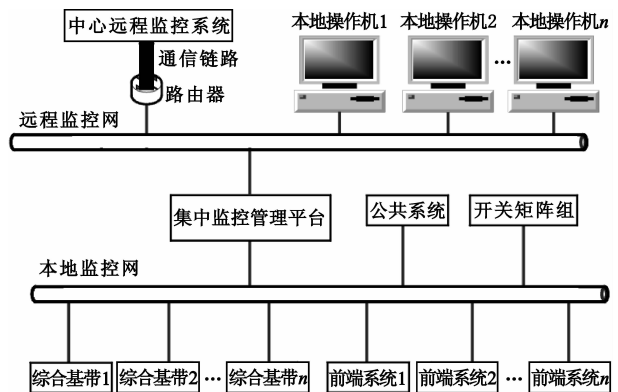


图 3 集中监控管理网络结构

Fig.3 Structure of centralized monitoring and control net

集中监控管理平台必须是一套标准化、开放式的监控系统,能够以操作人员现场配置的方式来快速适应站内设备的重组变化、升级改造或新增设备的接入,避免因此而导致对监控软件代码的反复更动。如图 4 所示,在集中监控管理平台中,每个前端系统或终端设备的监控功能均作为一个单独功能单元出现,平台还包括集中公共系统监控、开关矩阵组监控、动态重组配置管理、系统参数存储管理、自动化运行管理等功能单元。

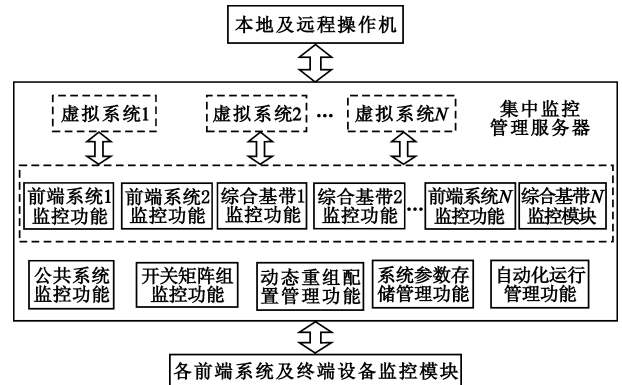


图 4 集中监控平台功能构成

Fig.4 Functional block diagram of the centralized M&C platform

监控管理平台可以根据任务的需求来动态组合出若干套虚拟测控系统,对测站、网管中心及任务中心而言,每套虚拟系统均可作为一套功能完整的测控系统来使用。

3 工程实现中需要关注的关键技术

3.1 大规模开关矩阵

传统测控设备的中频开关矩阵是作为一个整件的形式来出现的,若其中某些通道失效,只能使用备份通道代替,失效通道过多则只能返厂维修,可维修性、可扩展性并不好。

大规模开关矩阵是动态重组的基础,与传统的中频开关矩阵相比,适应动态重组的大规模开关矩阵必须具备高可靠性、高可维修性,可方便地进行级联扩展,并支持智能故障诊断功能。

3.2 标准化接口

(1)监控接口标准化

在动态重组的测控系统内,各前端系统及终端系统的监控信息都汇集到了集中监控管理平台,并由集中监控管理平台进行解析、处理,这就要求所有设备的监控信息必须处于同一个协议框架之内,该框架必须是开放式的^[2],能够灵活适应各种不同类

型设备的监控需求,并能方便地升级扩展。

(2)中频接口标准化

若要将不同生产厂家的前端系统及终端系统进行动态重组,就必须确保中频接口的机械及电气特性互相兼容。对于工程测控中常用的70 MHz中频信号而言,目前已经能够实现标准化。但对于不同频段、不同速率的数传信号而言,其中频频率、信道带宽、传输方式等方面尚需研究制定相应的规范。

3.3 监控软件动态重组技术

对于动态重组的测控系统,集中监控管理软件不能仅仅对系统内各设备监控功能进行机械堆砌,而应该是对参与动态组合的设备进行智能化的动态重组。其主要需求有以下三方面:

(1)监控管理软件应高度模块化,各模块间兼容性好,可以方便地通过现场配置方式生成不同设备组合的监控工作场景,并可靠运行;

(2)对于动态变化的设备组合状态,应能够根据设备的不同任务特性,正确地处理其自动化工作流程^[3]及故障诊断流程;

(3)对于动态组合生成的监控工作场景,应具有良好的人机界面,并具有人工编辑的功能。

近年来,业内的研究主要集中在“软总线”^[4-5]的概念及实现技术上,该技术在某些领域已经得到应用,但在测控系统的工程应用方面仍需开展进一步研究。

4 结束语

测控资源动态重组的工作模式是提高测控网可靠性及运行效率的较优解决方案。从目前的工程实践上看,仍有大量的具体技术问题有待解决,尤其是对动态重组系统的监控管理方式上,是目前最迫切需要解决的关键技术问题。除了本文所述的技术问题外,随着测控资源动态重组推向工程应用,传统的按系统型号来研制、生产定制系统的研制管理模式及以单套设备为对象的资源调配模式也将发生深刻的改变,在这方面也有许多问题值得进一步探讨。

参考文献:

- [1] 刘嘉兴.飞行器测控通信工程[M].北京:国防工业出版社,2010.
LIU Jia-xing. Spacecraft TT&C and Communication Engineering [M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2010. (in Chinese)
- [2] 蔡勇,吕云飞,黄牛. 潜艇新型作战系统发展构想[J]. 船电技术, 2011, 31(2): 1-6.
CAI Yong, LV Yun-fei, HUANG Niu. Development Conception of New Combat System for A Submarine [J]. Marine Electric & Electronic Engineering, 2011, 31(2): 23-25. (in Chinese)
- [3] 高京龙. 航天测控站无人值守技术分析[J]. 无线电工程, 2011, 41(12): 38-40, 58.
GAO Jing-long. Analysis on Unattended Technology for Space TT&C Station [J]. Radio Engineering, 2011, 41(12): 38-40, 58. (in Chinese)
- [4] 张焱,周文硕,赵华敏. 基于软总线的电子靶场测控体系架构研究[J]. 中国传媒大学学报(自然科学版), 2011, 18(2): 36-38.
ZHANG Yan, ZHOU Wen-shuo, ZHAO Hua-min. Study on Electronic Range Measurement and Control Architecture Based on Software Bus [J]. Journal of Communication University of China (Science and Technology), 2011, 18(2): 36-38. (in Chinese)
- [5] 颜建平. 基于软总线的业务测控系统平台研究[J]. 无线电工程, 2008, 38(12): 23-25.
YAN Jian-ping. Research on Payload TT&C System Platform Based on Software Bus [J]. Radio Engineering, 2008, 38(12): 23-25. (in Chinese)

作者简介:



洪宇(1973—),男,陕西西安人,硕士,高级工程师,主要研究方向为无线电测量技术及航天测控站总体设计;

HONG Yu was born in Xi'an, Shaanxi Province, in 1973. He is now a senior engineer with the M. S. degree. His research concerns radio measurement and the overall design of TT&C station.

Email: hongyu0613@163.com

张宏(1973—),男,甘肃敦煌人,工程师,主要研究方向为航天测控站总体设计;

ZHANG Hong was born in Dunhuang, Gansu Province, in 1973. He is now an engineer. His research concerns the overall design of TT&C station.

李娜(1978—),女,陕西渭南人,硕士,讲师,主要研究方向为自动控制理论。

LI Na was born in Weinan, Shaanxi Province, in 1978. She is now a lecturer with the M. S. degree. Her research concerns the theory of autocontrol.