

学校编码：10384

分类号_____密级_秘密

学号：200431003

UDC _____

厦 门 大 学

工 程 硕 士 学 位 论 文

航天测控设备标校分系统自动化设计

Automatic Design of Calibrating Subsystem

for Space TT&C Equipment

林炳梁

指导教师姓名：彭侠夫 教授

张维宇 高级工程师

专业名称：控 制 工 程

论文提交日期：2007 年 4 月

论文答辩时间：2007 年 月

学位授予日期：2007 年 月

答辩委员会主席：_____

评 阅 人：_____

2007 年 月

厦门大学学位论文原创性声明

兹呈交的学位论文，是本人在导师指导下独立完成的研究成果。
本人在论文写作中参考的其他个人或集体的研究成果，均在文中以明确方式标明。本人依法享有和承担由此论文产生的权利和责任。

声明人（签名）：

年 月 日

厦门大学学位论文著作权使用声明

本人完全了解厦门大学有关保留、使用学位论文的规定。厦门大学有权保留并向国家主管部门或其指定机构送交论文的纸质版和电子版，有权将学位论文用于非赢利目的的少量复制并允许论文进入学校图书馆被查阅，有权将学位论文的内容编入有关数据库进行检索，有权将学位论文的标题和摘要汇编出版。保密的学位论文在解密后适用本规定。

本学位论文属于

1、保密（），在 10 年解密后适用本授权书。

2、不保密（）

（请在以上相应括号内打“√”）

作者签名： 日期： 年 月 日

导师签名： 日期： 年 月 日

摘要

应用于我国航天测控网的典型测控设备 UCB(国际标准 C 频段微波统一测控系统)的标校分系统,设备功能不够完善,自动化水平低,不能实现远程监控,无法适应和满足当前新的测控业务需求。本文的工作是研究和分析标校测试工作的现状,提出在整合原有设备和解决现有存在问题的基础上,设计研制一套功能齐全、性能稳定的自动化标校分系统。本文提出了标校分系统的总体设计方案和各分系统模块的设计方案。在应答机方面,提出了全频段联试应答机设计的解决方案,并对应答机的指标进行了论证。为了实现对标校设备、微波信道和电源的监控,采用了以三菱 FX2n-80MR 可编程控制器为核心的远程监控分机的设计方案。远程通信链路则采用了利用现有普通电话实现 5Km 远程数据通信的设计方法。

根据设计完成的标校分系统已在多次航天测控任务中得到使用,工作稳定可靠,不仅实现了既定的功能,还从根本上实现了标校工作的自动化。最后也指出了研制中的不足和今后研究的方向。

关键词: 标校; 自动化; 应答机

Abstract

Unified C-Band Microwave TT&C System (UCB) plays an important role in China's space TT&C network for its inter-linkage based on universal interface and international standard band C design, its good performance and its high automation. But the relevant calibrating devices cannot be competent for the current demand in the field of TT&C, because of the un-perfect performance such as having the low level of automation, having not the remote operations. This article first gives a survey of UCB and the relative calibrating devices, and then put forward a new, perfect and highly automatic calibrating subsystem. There are seven chapters in the article. In the 1st chapter, in one hand the current state of UCB and the calibrating devices are analyzed, in the other hand the purpose and the task of designing a new calibrating subsystem are stated. The theories of calibration are introduced, including techniques in this field and used devices. Then the general designs are brought forward, and the projects of whole band responder (RSP), remote controller, and the telecommunication link, are summarized. In the next chapter, the detailed designs of RSP are dissertated, including the supporting theories, the resolution of laying over the whole band, and meeting the demanded indexes. Chapter 5, the detailed designs of the remote controller are given, including the handling of the core apparatus, Mitsubishi FX2n-80MR, the processing of the monitoring items, which are about the calibrating devices, microware channel and power supply. In the 6th chapter, how to complete the telecommunication through existing telephone line about 5km long, is explained. The sum up of this article is in the last chapter. The implementations are evaluated here, and the shortage and the future development are also discussed.

Key Words: Calibrating; Automatic; Responder

目 录

第 1 章 概述	1
1.1 我国航天测控系统发展概况	1
1.2 典型测控设备简介	2
1.3 标校分系统自动化设计的目的和意义	3
1.4 本文的主要工作	4
第 2 章 测试标校理论	6
2.1 概述	6
2.2 标校设备	7
2.2.1 距离校零变频器	7
2.2.2 联试应答机.....	8
2.2.3 信标机.....	8
2.2.4 卫星模拟器.....	9
2.2.5 标校辅助设备.....	9
2.3 标校工作	10
2.3.1 系统联调	10
2.3.2 距离标校	10
2.3.3 角度标校	11
第 3 章 标校分系统自动化设计的总体思路	16
3.1 设计原则	16
3.2 总体方案	16
3.3 标校设备的完善	17
3.3.1 现有设备状况.....	17
3.3.2 全频段应答机.....	18
3.4 远程监视控制分机	19
3.4.1 方案概述	20
3.4.2 技术进步点	20
3.5 远程通信链路方案	21
第 4 章 全频段联试应答机	21
4.1 概述	21
4.2 技术指标	23
4.3 联试应答机总体设计方案	24
4.3.1 工作原理	24
4.3.2 模块划分	25

4.3.3 关键技术	25
4.4 指标论证	28
4.4.1 频率流程	28
4.4.2 噪声系数估算	29
4.4.3 中放带宽的确定	31
4.4.4 接收灵敏度和信道增益分配	31
4.4.5 发射信道设计及分析	32
4.5 监控单元	32
4.5.1 监控方案	32
4.5.2 软件设计	33
第 5 章 远程监控分机	34
5.1 概述	34
5.2 技术指标	34
5.3 总体方案	35
5.4 工业控制器	41
5.4 PLC 软件概要	49
第 6 章 远程通信链路	54
6.1 概述	54
6.2 连接器转换	55
6.3 MODEM 的设置	58
6.4 无线通信（点对点微波通信）	61
结 论	62
参考文献	63
作者在攻读硕士学位期间发表的论文	65
致 谢	66

Contents

Chapter 1 Introduction.....	1
1.1 Basic Situation of TT&C System.....	1
1.2 Characteristic of Typical TT&C Equipment	2
1.3 Aim and Purpose of Designing Calibration Subsystem.....	4
1.4 Main Work of this Paper.....	5
Chapter 2 Theories of Calibrating.....	6
2.1 Summary.....	6
2.2 Calibrating Devices.....	7
2.3 Ways of Calibration.....	10
Chapter 3 Macro Design of Calibrating System	16
3.1 Principle of Designing	16
3.2 Macro Scheme of Designing.....	17
3.3 Improvement of Calibrating Devices	18
3.4 Remote Controller.....	19
3.5 Telecommunication Link.....	20
Chapter 4 Whole Band-C RSP	22
4.1 Summary	22
4.2 Indexes	23
4.3 Scheme	24
4.4 Demonstrating of Indexes	28
4.5 Control and Monitor Unit.....	32
Chapter 5 Remote Controller.....	34
5.1 Summary	34
5.2 Technique Indexes.....	37
5.3 Macro Scheme of Designing.....	37
5.4 Programmable Logical Controller.....	37
5.5 Software of PLC.....	37
Chapter 6 Telecommunication Link.....	54
6.1 Summary	54
6.2 Joint Converter	55
6.3 Settings of MODEM	58

6.4 Radio Communication (Point to Point)	61
Conclusion.....	63
References.....	63
Published Papers of Author	65
Thanks.....	66

厦门大学博硕士学位论文摘要库

第 1 章 概述

1.1 我国航天测控系统发展概况

为了保证航天器在轨道上正常工作，航天器必须不断将有关信息向地面报告，地面必须依靠所建立的测控系统对航天器进行遥测、遥控、跟踪和通信联络。航天器的测控由航天器所载测控设备和地面测控系统共同完成，为此，除了航天器上应载有测控设备之外，还必须在地面建立测控（包括通信）系统。地面测控系统由分布全球各地的测控台、站及测量船组成。这些台、站和船通常配备有精密跟踪雷达、光学跟踪望远镜、多普勒测速仪、遥测解调器、遥控发射机、电子计算机、通信设备等。

40 多年来，为了配合航天试验任务，我国的测控和沟通测控系统的通信技术有了长足的发展。在测控系统总体设计、测控网和测控中心的建设、测量数据的实时和事后分析，以及跟踪测量和指令控制设备技术等方面都跨入了当今世界先进行列。我国航天测控网由发射和测控中心、若干陆地固定和机动测控站及航天测量船组成。已经建立和逐步完善由 UHF、S、C 三个频段 TTC 设备组成的航天测控系统，具备完成第二代卫星、载人航天工程的测控支持能力。通过执行历次卫星发射试验任务中，证明其有很高的总体效能。

中国从 1967 年开始建设自己的航天测控网，1970 年正式投入使用。当初的航天测控通信网由西安卫星测控中心和若干个航天测控站、海上测量船以及连接它们的专用通信网组成。西安卫星测控中心，是中国航天测控网的信息交换数据处理中心、指控中心和通信中心。该中心由数据处理系统、通信系统、指挥监控系统和时间统一系统组成，可对不同轨道的卫星进行定轨、定姿和管理，并具有多种卫星同时管理的能力。当时的航天测控网中固定站有长春、闽西、厦门、渭南、南宁和喀什测控站；机动站有两个机动测控站和回收测量站；海上有三艘“远望”号测量船。建网初期，主要测量设备有单脉冲精密跟踪雷达、多普勒测速仪、光学测量设备和短波遥测设备等。70 年代初成功地跟踪了中国第一颗人造地球卫星——“东方红”1 号。后又增加了双频多普勒测速仪、超短波遥测系统、遥控系统和回收测量系统。从 1975~1996 年，对中国用一枚运载火箭发射的 3 颗卫星同时予以测控管理。80 年代初，测控网增加了微波统一测控系统并设计了先进的地球同步轨道卫星测控应用软件，在历次的地球同步通信卫星发射中，测

控网参加了主动段飞行测控,完成了过渡轨道段和地球同步轨道的测控并对卫星进行了包括轨道保持在内的长期测控管理。1988年和1990年,测控网先后圆满完成了对中国发射的第一颗和第二颗太阳同步轨道“风云”-1号气象卫星的测控任务。从1990年中国发射美国制造的“亚洲”-1号通信卫星起,中国航天测控网开始对中国承揽的国际商业性发射任务提供测控支持。中国航天测控网在技术上与国际上主要测控网渐趋兼容,可与之联网工作。

随着载人工程的启动,航天测控系统又进入了一个新的发展阶段,扩充改造了设备,更新了软件,新建了北京航天指挥控制中心,在国外设立了卡拉奇站(巴基斯坦)、纳米比亚站、马林迪站(肯尼亚)及“远望”-4号船等,使整个测控网的测控能力有了新的质的飞跃。目前,参加载人飞船工程地面测控系统有北京航天指挥控制中心、酒泉卫星发射指挥控制中心、西安卫星测控中心、酒泉卫星发射中心、酒泉综合测控站、发射首区各光学站、山西兴县站、陕西渭南站、厦门站、新疆喀什站、和田站、巴基斯坦卡拉奇站、南非站以及位于三大洋的四艘“远望”号测量船等。通信系统有指挥通信、数据传输、天地通信、时间统一、实况电视监视及传输、语音通信、帧中继交换等系统。通信系统的主用网络和备用网络覆盖了整个中国和世界三大洋。采用Vsat和IBS/IDR体制卫星通信系统、SDH和PDH光纤传输、国防通信网、国家通信网、国际海事卫星通信系统及国际租用电路等多种传输手段,组成以北京卫星地球站、酒泉卫星地球站、西安卫星地球站为枢纽节点、北京航天指挥中心、东风中心、西安中心为骨干节点,其他各测控站(船)为用户节点的网状通信网络,提供高速度、多方向、多业务、高质量的传输路由。测控系统与通信系统有机结合,在火箭、飞船测控通信系统的配合协调下工作,共同完成对运载火箭和飞船的测控通信任务。

1.2 典型测控设备简介

航天测控系统是航天运载器和航天器发射、在轨运行及返回全过程的重要支持保障系统,根据测控对象的不同可分为导弹测控系统、卫星测控系统和飞船测控系统等。本论文所涉及的国际标准C频段微波统一测控系统(Unified C-Band Microwave TT&C System,简称UCB)属于卫星测控系统,是我国目前正在应用的、比较有代表性的典型测控设备,它主要用于同步卫星运行轨道的测量、上行遥控指令的发送和下行遥测信

号的接收解调。

我国 C 频段微波统一测控系统的出现,是伴随着航天测控技术的突破的产物,它把分散体制转向统一载波体制,即把跟踪、测距、遥控、遥测等信号调制在统一的上下行载波上,大大简化了地面设备,同时使航天器上的天线数目大大减少,从而使整个系统的可靠性大为提高。我国 C 频段微波统一测控系统的研制始于二十世纪七十年代初,先后研制了“国内 C 频段测控网”及“国际 C 频段测控网”。二十世纪八十年代末,我国航天测控技术及系统正式进入国际市场,又研制了北京海事卫星测控站及鑫诺卫星测控站。国内 C 频段测控网是我国为了发射“东方红二号”地球同步通信卫星而研制的,到二十世纪八十年代初建成。由于该测控网的统一载波测控系统在工作频段、体制、信号等方面有别于国际上普遍采用的技术标准,故称为“国内 C 频段测控网”。该系统采用综合信道体制,上行具有载波和通过载波传递测距、指令信号,下行具有相参转发载波及通过载波传递编码遥测、模拟遥测及转发测距信号和卫星数传等多项功能。国内 C 频段测控系统具有上行调频、调相两种工作体制,以调相为主。

国际 C 频段测控网的建立,是为了支持我国新一代大容量地球同步通信卫星及气象卫星发射,同时也考虑到在航天测控领域的国际合作,从二十世纪八十年代中期开始研制,于 1991 年投入使用。该网主要由两套陆站国际标准 C 频段微波统一测控系统、一套船载国际标准 C 频段微波统一测控系统、若干套限动天线国际标准 C 频段微波统一测控系统及卫星测控中心组成。该测控网的典型测控设备为陆站国际标准 C 频段微波统一测控系统(UCB)。该系统具有测轨(A、E、R)、遥测(TMA、TMC)、遥控等多种功能,其突出的特点是在频段、体制、信号形式等方面靠拢国际标准。进入二十一世纪以来,航天测控任务十分饱满,对测控服务水平也提出了更高的要求。针对 UCB 存在的问题,测控部门提出对 UCB 进行一系列的现代化改造,以适应新的测控需求。改造中采用的主要技术手段有:

1、统一载波综合信道技术

系统采用国内外较先进的多信息(遥测、遥控、测距及跟踪)综合信道技术,这些信息共用一个载波传输信道,它们同时或单独调制在各自的副载波后,再调制在上行/下行载波上进行传输。这种统一载波综合信道技术的最大优点是简化了星上及地面设备,设备量较小,精度也不低于单功能设备。

2、高度自动化的全透明工作体制

从卫星测控站系统工作方式和数据传输方式来讲,全透明的工作和传输体制得到了越来越广泛的应用。改造后的 UCB 设备采用了全透明工作和传输体制,数据传输设备(DTE)通过卫通或 IDD 方式实现 UCB 设备与测控中心之间测轨、遥控、遥测和监控数据的全透明传输,DTE 是 UCB 和卫星测控中心数据传输的透明通道。系统监控单元(SMCU)和分系统监控处理器实现了测控中心对站内设备的远程监控。各分系统分控台、MCP 对 SMCU 监控数据传输是透明的;而 SMCU 通过透明通道 DTE 对测控中心是透明的。分控台、MCP、SMCU 和 DTE 之间均采用以太网连接。

3、综合化、增强型时频终端技术

为了有效降低对外部时间统一系统的依赖性、增强 UCB 系统独立工作的能力,改进了时频终端传统的设计方案,采用综合设计技术,增配了具有校时功能的 GPS 接收机,配置 5MHz 频标,提供全系统高精度、高稳定的频率标准。

改造后的 UCB 作为构成我国新型国际 C 频段航天测控网的主要测控设备,由天伺馈分系统、高频发射分系统、高频接收分系统、基带设备分系统、监控分系统、数据传输分系统、时频终端分系统和标校分系统等八个分系统组成。

1.3 标校分系统自动化设计的目的和意义

在此次 UCB 改造任务中,标校分系统的设计改造是一个相对独立的课题,要求配合 UCB 改造的方向,采用与 UCB 技术特点相匹配的新技术来完成。根据总体设计要求,监控接口和界面可以借助 UCB 的系统监控台(SMCU),并为之匹配。

1.3.1 标校分系统现状

原有的标校分系统是由建在野外的标校塔系统组成,配置有光电标、应答机、变频器、信标机和手动衰减器。由于过去试验任务不多,标校测试一直由人工辅助完成。近年来航天测控任务增多,标校分系统暴露出了与测控任务发展不相适应的地方,主要是以下四个方面。一是标校测试不能全频段作业。配置的两套变频器工作于三个独立点频,三个信标机独立工作于三个不同点频,卫星模拟器的应答机依据任务需要工作于特定点频,因此除无源的收发天线工作于全频段外,微波标校设备只能工作于某个预设点频,不能根据新任务的需要实时改变点频,要增加任务点频就必须增加相应点频的标校设

备，才能完成标校测试工作。二是操作手动化。标校设备的开关机由操作员现场完成，标校设备的选择和微波信道的切换是通过改变射频电缆的连接关系来完成，信道电平的调整由操作员现场调整衰减器来实现。三是标校设备不能远程监控。标校设备虽然设置有监控接口，只能供操作员监控，不能由系统监控台远程监控。四是操作实时性差。由于需要人工现场操作，加上交通、通信和天候的影响，标校状态调整到位往往需要很长时间，不能适应测控标校作业的实时性要求。

1.3.2 标校分系统自动化设计的目的和意义

标校分系统自动化研制的任务是：在整合原有设备和解决现有存在的问题的基础上，提出综合解决方案，研制一套功能齐全、性能稳定的自动化标校系统。

标校分系统自动化设计的目的和意义是：

1、实现 UCB 在国际标准 C 频段全频段可标校，以适应国际测控联网和国内卫星测控新需求；

2、实现远程数据通信工作稳定可靠，标校设备全天候运行和实时监控；

3、实现无人值守和透明监控，标校分系统接受系统监控台和卫星测控中心的监控，可配合全系统的自动化标校作业。

1.4 本文的主要工作

本文以标校分系统的现实状况为基础来研究实现其自动化、更好地服务于航天测控设备的需求，主要完成了以下几项工作：

- (1) 介绍了我国 C 频段微波统一测控系统的发展概况和标校分系统的运行现状，提出了研制标校分系统的任务和目的。
- (2) 分析了航天测控业务中的测试标校理论、标校设备和常用标校工作；提出了标校分系统的总体设计方案，并介绍了研制全频段应答机、远程监控分机、远程通信链路的设计方案。
- (3) 阐述了全频段联试应答机的工作原理，提出全频段设计的解决方案，并对应答机的指标进行了论证；研究了以三菱 FX2n-80MR 可编程控制器为核心的远程监控分机设计，实现对标校设备、微波信道和电源的监控；设计了远程通信链路，利用现有普通电话线实现 5Km 远程数据通信的链路设计和实现方法。

第 2 章 测试标校理论

2.1 概述

系统标校是确保测控系统测量精度和功能最重要且必不可少的环节，其目的是标定相应的误差系数、消除系统误差，提高系统的测量精度，检验设备的功能。按照标校采用的基准不同，可分为两类：星体标校和常规标校。星体标校是利用经过天文测量已经精确定位的恒星进行标校，这种标校方法具有远场条件好、标定结果精确的优点，但同时也易受天气、能见度等外界因素的影响；常规标校是以经过精确大地测量的标校塔、方位标等为基准进行的标校，具有可操作性强、标定项目完备、不易受外界因素影响的特点，故普遍用于靶场设备的标校、测量。UCB 设备的系统标校主要采用常规标校的方法进行。

常规标校的基本设施包括标校场区和标校塔，主要设备包括光电标、标校望远镜、变频器、应答机、信标机等。标校场区的地形应开阔无遮挡，一般至少在对准标校塔方向 $\pm 30^\circ$ 的空间内无遮挡，其间的地表植被能吸收多径杂波，有利于标校。标校塔与 UCB 设备的距离应满足天线的远场条件，即：

$$R \geq 2D^2 / \lambda \quad (2.1-1)$$

式中：D——天线口径；

λ ——工作波长。

标校塔的高度一般应使天线电轴对准目标时的仰角大于 3~5 倍以上的天线半功率波束宽度。UCB 天线半功率波束宽度小于 1 度，要求测控主天线对标校塔仰角大于 3 度，在测控场区附近的山上设置标校塔，很容易满足仰角要求。

2.2 标校设备

标校是卫星测控系统使用前后必须进行的工作。统一载波测控系统必须适时进行系统的标定和校准，使测控设备在工作时保持良好的测量精度和功能。标校测试工作一般必须在标校设备的辅助下进行，UCB 系统常用的标校设备有光标、电标（收发天线）、距离校零变频器、联试应答机、信标机、卫星模拟器和标校塔辅助设备。

2.2.1 距离校零变频器

距离校零变频器是统一载波测控系统重要的标校设备之一，配合地面设备完成系统有线或无线距离校零。距离校零变频器一般由频率综合器、宽带混频器、接收滤波器、发射滤波器、电调衰减器、监测与控制等单元组成。工作原理框图如图 2.1 所示。

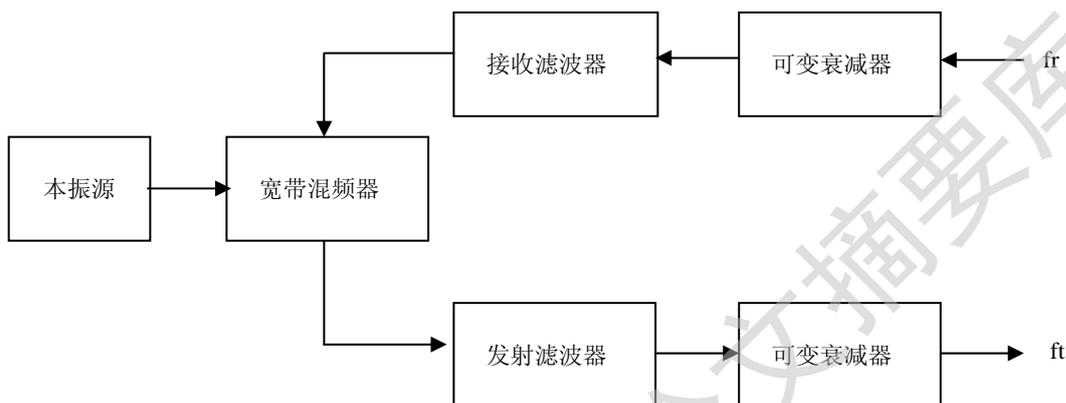


图 2.1 校零变频器工作原理方框图

变频器的的工作原理是：当接收频率为 f_r 时，经变频器频率变换发射频率为 $f_t = f_r \pm f_0$ ，本振频率 f_0 由本振源产生。为了满足系统设备不同频点的距离零值分离的需要，距离校零变频器具备宽带变频能力，而由混频器两端的接收滤波器和发射滤波器滤出所需频率。混频器及收发滤波器都具有小的时延(时延小，其变化就更小)及良好的收发隔离性能。电调衰减器可以调节发射或接收电平，以满足标校电平的需要。

2.2.2 联试应答机

联试应答机可配合系统完成系统联调、距离校零、信道检查和角度标定。作为系统联试标校用应答机，一般都具有“应答”和“信标”两种工作状态，具备自动切换功能。联试应答机的组成框图如图 2.2 所示。

整机主要由以下 6 个模块组成：

- 1、接收模块：由预选器和镜频抑制滤波器、一混频器、一中放、二混频器、二中放等组成。
- 2、发射模块：由倍频器、调相器、功率放大器、电调衰减器、滤波器等组成。
- 3、主振模块：包括 VCO、倍频器、D/A 变换器等。
- 4、鉴相解调模块：由主鉴相器、副鉴相器、鉴频器、环路滤波器、遥测电路组成。

Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to etd@xmu.edu.cn for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库