

导弹与航天丛书

卫星工程系列

空间相机设计与试验

宇航出版社

空间相机设计与试验

主 编 陈世平

副 主 编 杨秉新 王怀义 王金堂

主编助理 高 军 马文坡 王丽霞

作 者 (按姓氏笔画排序)

马文坡	王怀义	王金堂	邓明业
乌崇德	陈世平	杨佩君	金志煜
周胜利	林德萃	高 军	顾名澧

责任编辑 艾小军

宇航出版社

内 容 简 介

《空间相机设计与试验》是《导弹与航天丛书》卫星工程系列中的一本专著。全书共六章,内容包括:概论,空间相机设计基础,胶片型空间相机设计,光机扫描仪,空间 CCD 相机,空间相机测试与试验技术。

本书内容丰富,其中有很多是经过多年研究,在工程实践中归纳、综合、提炼并经过飞行实验的研究成果,具有很强的工程实用性,适合从事空间相机设计、研究、测试、试验和应用等领域的工程技术人员阅读,也可以作为高等院校相关专业的教学参考书。

卫星工程系列 空间相机设计与试验

主 编:陈世平
副 主 编:杨秉新 王怀义 王金堂
责任编辑:艾小军

*

宇航出版社出版发行

北京市和平里滨河路1号 邮政编码(100013)

发行部地址:北京市阜成路8号 邮政编码(100830)

北京京科印刷有限公司印刷

各地新华书店经销

*

开本:850×1168 1/32 印张:12.5 字数:334 千字
2003年12月第1版第1次印刷 印数:1~1000册
ISBN 7-80144-498-1/V·087 定价:38.00元

尊
彈
子
航
天
丛
書

張
文
華

**《导弹与航天丛书》
编辑工作委员会**

名誉主任 宋 健 鲍克明

主 任 刘纪原

副 主 任 任新民 孙家栋

委 员	屠守锷	黄纬禄	梁守槃	陈怀瑾
	王 卫	权振世	谢昌年	赵厚君
	曹中俄	张新侠	高本辉	

办 公 室 宋兆武 史宗田 任长卿 孙淑艳

**《卫星工程》
系列编辑委员会**

主 任 孙家栋

副 主 任 戚发轫 杨嘉墀 屠善澄
徐福祥 侯深渊(常务副主任)

委 员 林华宝 马兴瑞 李祖洪 邹广瑞
陈宜元 范本尧 朱毅麟 马世俊
黄本诚 陆道中 高慎斌 王金堂
魏钟铨

办 公 室 陆道中 杨树仁 宋惠兰 居自强
于 森

总 序

导弹与航天技术,是现代科学技术中发展最快的高技术之一。导弹武器的出现,使军事思想和作战方式发生了重大变革;航天技术,把人类活动的领域扩展到太空,使人类认识自然和利用外层空间的能力发生了质的飞跃。

导弹与航天技术是一项复杂的系统工程,它应用了现代科学技术众多领域的最新成就,是科学技术与国家基础工业紧密结合的产物,是一个国家科学技术水平和工业水平的重要标志。

中国人民经过 30 年的努力,依靠自己的力量,勇于开拓,坚韧不拔,在经济和科学技术比较落后的条件下,走出了自己发展导弹和航天技术的道路,造就了一支能打硬仗的技术队伍,建立了具有相当规模和水平的导弹和航天工业体系,形成了遍布全国的科研、生产协作网。这是党中央独立自主、自力更生方针的伟大胜利,是全国各地区、各部门大力协同,组织社会主义大协作的丰硕成果。

30 年来,我国已有多种型号经历了研究、设计、生产、试验、装备、使用的全过程,装备了各种射程的战略和战术弹道导弹、各种类型的防空导弹和飞航导弹,用多种运载火箭发射了不同轨道和用途的人造卫星,这些都是我国导弹和航天工业的物质成果。这些重大成果对增强我国的国防实力,促进经济发展,带动科学进步,发挥了重要的作用。

我们不仅取得了丰硕的物质成果,而且积累了宝贵的实践经验。为了发展中国的导弹和航天事业,多少人投入毕生的精力,贡献了宝贵的智慧,付出了辛勤的劳动,备尝了失败的苦痛和成功的

欢欣.这些付出高昂代价取得的实际经验,难以只从书本上学来,也不能从外国买来,只能靠自己在实践中总结.为了加速我国导弹和航天事业的发展,需要全面、系统地归纳以往研制过程中建立和应用的设计理论,总结其工程经验,用以指导今后的研制实践,并传授给导弹和航天事业一代又一代新生力量,使他们能在较高的起点上开始工作.为此,我们组织多年来从事导弹、人造卫星和运载火箭研制工作的专家和工程技术人员,编著了这套《导弹与航天丛书》.它以工程应用为主,力求体现工程的系统性、完整性和实用性,是我国导弹和航天技术队伍 30 年心血凝聚的精神成果,是多种专业技术工作者通力合作的产物.

作为一项系统工程,要求参加导弹和航天工程研制工作的各类技术人员,不仅精通自己的专业,而且充分理解相关专业的要求和特点,在统一的总体目标下,相互协调、密切配合地进行工作.因此,本《丛书》也是导弹和航天技术队伍各专业间以及和其他有关人员间进行技术交流的读物.

本《丛书》按液体弹道导弹与运载火箭(I)、固体弹道导弹(II)、防空导弹(III)、飞航导弹(IV)、卫星工程(V)等 5 个系列编排.各系列共用的固体推进技术(VI)和空气动力学(VII)两种专业编为专著,其他共用专业则纳入一个系列,并供其他系列选用.

本《丛书》的各级编委会、各卷册的主编、副主编及各章节的作者是一个庞大的科学技术人员群体,为了编写好这部大型丛书,编著人员在组织和技术工作上都付出了巨大劳动.期望这套《丛书》能帮助人们加深对于导弹和航天技术的了解,能促进中国的导弹和航天事业向更高的目标迈进.

《导弹与航天丛书》

编辑工作委员会

1987 年 8 月

《导弹与航天丛书》

卫星工程系列

序 言

卫星工程系列丛书是《导弹与航天丛书》的一个系列。

我国坚持自力更生、艰苦奋斗的方针,在人造卫星的研制工作中取得了举世瞩目的成就.1970年4月24日,中国第一颗人造地球卫星——“东方红一号”发射成功,卫星运行正常,跨入了空间大国的行列.至今,我国成功地研制和发射了30颗不同类型的人造卫星,其中包括当代最重要的三类应用卫星:高轨道的静止通信卫星、低轨道的返回式卫星和中轨道的遥感卫星.这些卫星应用于国民经济、国防建设、文化教育和科学研究的很多部门,取得了显著的社会和经济效益.

我国在研制人造卫星的工作中,开展了创造性的科研活动,积累了丰富的实践经验,形成了学科门类齐全的卫星工程知识体系.我们组织众多的工程技术专家编写本系列丛书的目的,在于将这些实践经验和理论知识进一步系统化和理论化,并适当地吸收国外先进的科学技术成果,使其形成一套航天技术专著,用于指导今后的卫星研制工作.本系列丛书共有19种技术专著,包括卫星工程概论、卫星分系统技术和专业技术,以及探空火箭设计,共计29分册.

本系列丛书的内容以人造卫星的研制技术为主,着重论述卫星工程技术方面的问题,并简要论及了许多相关学科的问题,使其具有完整性、系统性.某些分册涉及到载人飞船、空间站等其他类

航天器的工程技术问题,其中论述内容较多的两册,书名冠以航天器.本系列各种分册在内容上具有相对的独立性和系统性.

编纂卫星工程系列丛书尚无经验可循,我们的工作首次尝试,由于编著人员的知识水平和实践经验有限,书中不当之处在所难免,欢迎广大读者批评指正.

本系列丛书的编纂工作,得到很多单位领导、广大科技人员和宇航出版社很多同志的大力支持,在此致以衷心的感谢.

《导弹与航天丛书》

卫星工程系列编辑委员会

1991年6月

前 言

《空间相机设计与试验》是《导弹与航天丛书》卫星工程系列中关于卫星遥感技术领域的一本专著。本书由中国空间技术研究院北京空间机电研究所多位从事空间相机研制的专家共同编写。书中论述了空间相机设计和试验中所涉及的设计思想、技术原理和研究方法,介绍了空间相机工程研制过程中可能遇到的典型问题及解决办法。全书以相机研制工程实践为主线,首先论述空间相机设计和研制的技术基础,进而按空间相机发展的历程,围绕着胶片型空间相机、光机扫描仪和空间 CCD 相机分别论述各类相机设计和研制中所涉及的工程问题,最后介绍空间相机测试与试验的一般要求和基本方法。全书注重原理与设计的结合,设计与应用结合,突出了工程实用性,便于有关工程设计人员和试验测试人员使用。

在本书的编写和出版过程中,始终得到中国航天科技集团公司、中国空间技术研究院各级领导和《导弹与航天丛书》办公室的支持和帮助,在此表示衷心感谢。对陈宜元、姜林山、吴开林、常际军、朱积清、闫达远、邬敏贤等教授和专家给予的指导表示深切的感谢。童旭东、王建新、张学平等同志在本书编写过程中给予了大力支持,陆道中同志为本书编写提供了重要技术帮助,在此一并表示由衷感谢。韩茂诚、陆济群、孙玉兰、张彩云、于豫民、彭锦霞、范晟等同志,提供了大量宝贵的素材,为本书的编写做出了贡献,在此特致诚挚的谢意。

本书适于从事航天遥感,特别是从事空间相机设计、试验和应用等领域研究人员和工程技术人员阅读与参考,也可作为高等院校相关专业学生、研究生的教学参考。

由于编著者的水平、经验和能力有限,书中难免有缺点和错误,敬请广大读者批评指正。

编者

2003年8月于北京

目 录

第一章 概论 王金堂 陈世平

1.1 空间相机的概念、基本组成和分类	(1)
1.1.1 概念	(1)
1.1.2 基本组成	(2)
1.1.3 相机的分类	(3)
1.2 特点和应用	(5)
1.2.1 特点	(5)
1.2.2 应用	(7)
1.3 设计原则与实施步骤	(8)
1.4 技术发展和展望	(10)
1.4.1 气象和海洋观测空间相机	(10)
1.4.2 资源观测空间相机	(12)
1.4.3 小(轻)型相机	(14)
1.4.4 空间测绘相机	(15)
1.4.5 空间侦察相机	(16)
1.4.6 相机在轨演示试验	(18)

第二章 空间相机设计基础 顾名澧

2.1 空间相机设计的物理基础	(21)
2.1.1 太阳辐射	(21)
2.1.2 地球大气对太阳辐射的影响	(22)
2.1.3 地球的辐射	(28)
2.2 空间相机基本技术指标	(33)
2.2.1 空间分辨率	(33)

2.2.2	调制传递函数	(34)
2.2.3	光谱特性和波段选择	(34)
2.2.4	辐射分辨率	(39)
2.2.5	时间分辨率	(39)
2.3	空间相机常用光学系统	(40)
2.3.1	折射系统	(40)
2.3.2	折反系统	(42)
2.3.3	反射系统	(43)
2.3.4	光学系统的特殊要求	(45)
2.4	空间相机结构及热设计	(46)
2.4.1	空间相机结构设计要求	(46)
2.4.2	空间相机热设计要求	(47)
2.4.3	空间相机的热设计方法	(48)
2.4.4	典型热控措施	(52)
2.5	空间相机电路及电磁兼容性设计	(54)
2.5.1	空间相机电路设计要求	(54)
2.5.2	空间相机电磁兼容性设计	(55)
2.6	空间相机可靠性设计	(59)
2.6.1	空间相机可靠性概念	(59)
2.6.2	空间相机可靠性设计准则和方法	(60)
2.6.3	空间相机可靠性模型及指标分配	(61)
2.6.4	空间相机主要故障模式与对策	(63)
2.7	空间相机系统仿真概要	(65)

第三章 胶片型空间相机设计

杨秉新 乌崇德 杨佩君 邓明业

3.1	概述	(68)
3.1.1	胶片型相机的特点和作用	(68)
3.1.2	胶片简介	(69)
3.1.3	胶片型相机系统的组成	(71)
3.2	地物相机设计	(72)
3.2.1	设计依据	(72)
3.2.2	形式的选择	(73)

3.2.3	主要性能参数的选择	(77)
3.2.4	摄影周期及工作循环时序设计	(80)
3.2.5	地物相机组成	(81)
3.2.6	镜头设计	(81)
3.2.7	照相窗口设计	(90)
3.2.8	快门设计	(92)
3.2.9	像移补偿机构设计	(97)
3.2.10	胶片展平机构设计	(101)
3.2.11	输片机构	(104)
3.2.12	曝光控制设计	(112)
3.2.13	数据标记设计	(115)
3.2.14	控制线路的设计	(116)
3.2.15	相机主体结构设计	(126)
3.3	星相机设计	(127)
3.3.1	卫星姿态记录与摄影目标定位简述	(128)
3.3.2	目标特性	(130)
3.3.3	相机设计	(133)
3.3.4	典型的恒星相机设计举例	(153)
3.4	星相机与地物相机同步工作方式	(154)
3.4.1	同步和位置要求	(154)
3.4.2	曝光同步控制电路设计	(155)
第四章 光机扫描仪 高军 王怀义 金志煜		
4.1	概述	(159)
4.2	光机扫描仪的总体设计	(161)
4.2.1	光机扫描仪的基本组成	(161)
4.2.2	光机扫描仪设计参数的选择	(162)
4.2.3	总体设计中的几个关键问题	(166)
4.2.4	光机扫描仪总体参数的确定与计算	(168)
4.3	光机扫描仪扫描系统	(178)
4.3.1	扫描系统组成与主要参数	(178)
4.3.2	扫描系统扫描特性分析	(180)
4.3.3	扫描系统设计中的关键问题	(183)

4.3.4	典型扫描装置——双向摆动	
	扫描装置设计	(184)
4.4	光机扫描仪光学系统设计	(186)
4.4.1	光学系统的结构型式选择	(187)
4.4.2	主光学系统	(187)
4.4.3	后光学系统	(191)
4.4.4	杂散辐射控制	(195)
4.4.5	光学系统热稳定性问题	(196)
4.5	探测器及低噪声电子线路	(197)
4.5.1	光电探测器的主要参数	(198)
4.5.2	探测器噪声特性	(200)
4.5.3	焦平面探测器组件的设计要求	(202)
4.5.4	焦平面电子线路设计要求	(203)
4.6	光机扫描仪制冷系统	(207)
4.6.1	空间制冷器种类和选择	(207)
4.6.2	空间辐射制冷器	(208)
4.6.3	空间斯特林制冷机	(210)
4.7	星上辐射定标器	(215)
4.8	CBERS 卫星红外多光谱扫描仪设计	
	实例	(218)
4.8.1	系统主要指标和功能	(218)
4.8.2	系统组成和工作原理	(219)
4.8.3	系统实现的性能指标	(223)
第五章 空间 CCD 相机		林德萃 马文坡
5.1	概述	(226)
5.1.1	工作原理和组成	(227)
5.1.2	CCD 探测器性能简介	(228)
5.1.3	发展趋势	(232)
5.2	空间 CCD 相机设计	(234)
5.2.1	相机的使用要求及约束条件	(235)
5.2.2	相机总体设计	(236)
5.2.3	光学系统	(265)

5.2.4 多光谱 CCD 相机焦面组件	(269)
5.2.5 调焦机构	(277)
5.2.6 侧视机构	(279)
5.2.7 星上定标器设计	(283)
5.2.8 CCD 成像电路	(286)
5.3 设计举例	(291)
5.3.1 CBERS CCD 相机设计	(291)
5.3.2 其他类型相机设计概要	(299)
第六章 空间相机测试与试验技术	

周胜利 顾名澧

6.1 概述	(305)
6.2 光学特性测试	(308)
6.2.1 内方位元素测试	(308)
6.2.2 真空离焦量测试	(311)
6.2.3 空间分辨率测试	(313)
6.2.4 光谱透过率测试	(315)
6.2.5 杂散辐射特性测试	(316)
6.2.6 光学系统调制传递函数 MTF 测试	(317)
6.3 系统特性测试方法	(319)
6.3.1 相机视轴与基准面的夹角测试	(320)
6.3.2 谱段间探测器配准测试	(323)
6.3.3 光机扫描特性测试	(325)
6.3.4 系统光谱特性测试	(326)
6.3.5 系统调制传递函数测试	(329)
6.3.6 空间相机辐射分辨率测试	(331)
6.3.7 空间相机信噪比和动态范围测试	(333)
6.4 辐射定标试验	(334)
6.4.1 辐射定标种类及意义	(334)
6.4.2 实验室辐射定标	(336)
6.4.3 模拟空间环境辐射定标	(339)
6.4.4 外场辐射定标(太阳作为标准辐射源)	(348)