

王希季 李大耀 著

卫星 设计学

The book cover features a dark blue space background with a satellite in the lower-left quadrant and a bright star with a lens flare effect in the upper-center. The title '卫星设计学' is written in large, bold, pinkish-red characters.

上海科学技术出版社

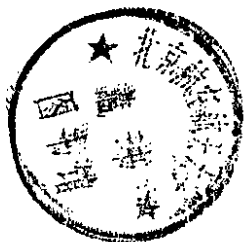
33229305

V423

卫星设计学⁰³

王希季 李大耀

HK45/06



上海科学技术出版社



C0401374

卫星设计学

王希季 李大耀

上海科学技术出版社出版、发行

(上海瑞金二路 450 号)

新华书店上海发行所经销 常熟市第六印刷厂印刷

开本 850×1156 1/32 印张 11.625 插页 4 字数 285,000

1997 年 12 月第 1 版 1997 年 12 月第 1 次印刷

印数: 1-1,500

ISBN 7-5323-4551-3/V·1

定价: 22.00 元

内 容 简 介

本书为我国第一部较系统地阐述卫星设计方法学——卫星设计学的专著。卫星设计学是工程设计学的一个分支，是工程设计学与卫星设计领域有机结合的产物。本书重点从理论角度论述卫星设计的基本原理和方法，对卫星设计的专业技术只作简要介绍。全书内容包括：卫星设计学内涵、卫星设计特点、卫星设计程序、卫星总体方案设计、卫星轨道和星座设计、卫星构形设计、卫星可靠性设计、卫星成本估算和卫星设计方案评价等有关卫星设计的重点问题。

本书适合于空间技术研究、设计、试验和管理人员阅读，对其它高科技领域和工程领域的科技人员以及理工科院校的教师、研究生和本科生也有参考价值。

HK45/06

序

卫星设计学主要研究卫星设计及其相关方面的共性问题,探讨卫星设计工作的程序和方法,寻求以高效率完成高质量卫星设计的途径。航天器可以划分为载人和不载人两类,卫星可以理解为不载人航天器的总称。卫星与载人航天器虽然具有一定的共性,但载人航天器设计时要突出地考虑人的安全性、人在空间生活和工作的环境、空间人机关系等重要问题,而在卫星设计时就不考虑这些问题。因此,在卫星设计学中不涉及航天器载人所带来的特殊问题。

卫星设计学是工程设计学的一个分支,它是随着空间技术的发展而逐渐形成和发展起来的。在空间事业的发展过程中,出现了许多造诣很高的卫星设计师,他们运用所拥有的丰富的设计经验和专业知识,以高的效率和较强的组织能力设计出很多品质和经济性都堪称上乘的卫星。但时至今日,从设计角度比较系统地分析、归纳和阐述这些高明的卫星设计师的宝贵经验的文章和著作还很少看到。基于这种考虑,希望能够通过《卫星设计学》这本书,在一定程度上回答这些卫星设计师的高明之处。对这个问题的回答,如能达到一定的准确度,相信对各级卫星设计师会有参考价值。

在我国高等工业院校中,几乎所有与设计有关的专业都只设置专业设计的课程,而没有设置工程设计学课程。学生在学校获得专业知识和专业设计知识,当然十分重要,但学不到工程设计全局

性和规律性等方面的知识,往往会产生专业技术设计就是设计工作全部的误解。这样的学生成为设计师后,在处理系统性问题和运用折衷、权衡、择优等方法处理问题以及辩证理解目标与制约、决定与变化、整体和部分等关系时,往往感到知识和能力不足,工作起来困难不少。

现在一般通过培训和“以老带新”以及“自学成材”等途径来使新参加工作的设计师们适应卫星的设计工作。这些途径都需要较长的时间,往往还要经历“交学费”(也就是从失误中吸取教训)的过程。本书或许能对加速卫星设计师的培养和成长以及减少“交学费”的现象起一些作用,从而有利于卫星事业的发展。

卫星设计学包含的主要内容有:结合卫星设计阐述工程设计学的基本理论,研究卫星的最本质的特征(存在于外层空间和在外层空间高度自动化活动,服务于在地上的人类),对卫星设计的主要规则和方法以及对设计方案的评估,卫星的可靠性和经济性问题。这几方面都是卫星设计,特别是卫星总体方案设计的共性问题。在这些共性问题中,客观上存在着一些必须认识和遵守的规律。本书研究重点就是要尽可能准确地找出这些规律和明确地阐述这些规律。

卫星设计学是国内第一本较为集中地讨论卫星设计有关问题的专著,首次尝试难免会有缺点和错误。希望本书能起到抛砖引玉的作用,能得到设计师们和有关技术工作者们的批评和指正,以促进我国工程设计学的发展。

目 录

第一章 绪论	1
第一节 卫星设计学的概念.....	1
第二节 科学、技术和卫星设计	4
第三节 卫星工程系统和卫星.....	7
第二章 卫星设计的性质和特点	11
第一节 卫星及其设计的性质	11
第二节 卫星设计的特点	26
第三章 卫星设计的程序	33
第一节 卫星设计程序的基本类型和通用模式	36
第二节 卫星的外部设计以及任务和指标的确定	45
第三节 卫星可行方案论证和设计	53
第四节 卫星总体的方案设计	57
第五节 卫星分系统的方案设计	66
第六节 卫星的详细设计	71
第七节 卫星通用设计程序的进一步讨论	78
第四章 卫星的设计要求	84
第一节 卫星设计要求的构成	86
第二节 卫星设计要求的分析和综合	94
第三节 卫星设计要求的分解和确定.....	102
第五章 卫星总体方案设计	106
第一节 卫星总体方案设计的意义.....	106

第二节	卫星总体方案的综合选优	109
第三节	组成卫星的分系统	114
第四节	卫星的设计模型	121
第五节	卫星总体设计指标的分配	130
第六章	卫星轨道和星座设计	146
第一节	卫星轨道和星座方案设计的基本原则	147
第二节	卫星轨道的基本概念	154
第三节	卫星对地面的覆盖	167
第四节	卫星轨道和星座设计的基本方法	177
第七章	卫星构形设计	191
第一节	卫星构形设计的任务和特点	191
第二节	卫星构形设计的基本要求	194
第三节	卫星构形的类型	200
第八章	卫星可靠性设计	218
第一节	卫星的可靠性	218
第二节	卫星可靠性模型	230
第三节	卫星可靠性预测	245
第四节	卫星可靠性分配	257
第五节	卫星故障模式、影响及危害性分析	268
第六节	卫星故障树分析	289
第九章	卫星成本估算	311
第一节	卫星成本的构成	311
第二节	卫星成本估算方法	316
第三节	卫星成本数据的回归分析	324
第十章	卫星设计方案评价	329
第一节	卫星设计方案评价的标准和步骤	329
第二节	卫星设计方案的定量评价方法	335
第三节	卫星设计方案评价示例	353

参考文献.....	359
附：作者简介	361

第一章 绪 论

第一节 卫星设计学的概念

卫星设计学是工程设计学的一个分支,在卫星设计学中应用工程设计学的研究成果,并结合卫星设计领域的特殊问题进一步阐述和深化工程设计学的内容。

一、工程设计学

设计就其一般的含义而言,可以认为是一项为满足特定需求而预先进行的、用来指导行动以达到目的的活动。通过这项有目的的活动,创制出预期能够解决问题的安排、部署、计划、方案、程序、规程、图表和指导文件等资料。大至一个国家计划的制定,小至一桌饭菜单的提出,都可以视为一项设计,或者说都是具有设计性质的活动。

范围限制在工程技术方面的设计,称为工程设计。它一般指工程技术人员创制出用工程语言(包括文字、术语、符号、计算机程序语言、图形和表格)表达的、预期能够制作出满足设计任务书和指标规定的硬、软件产品和工程项目的全套工程资料的工作。工程和技术部门依据这些设计资料去组织和进行研制,从而建造出符合设计任务书和规定指标的产品和工程。

承担工程设计的工程技术人员,一般称为设计师。设计师从事的工作主要是设计新的或改进原有的产品和工程项目,也就是创造出原来还没有的或改进原来已经有的设备、仪器、交通运输工

具、飞行器、各类的建筑和其他各类的工程等等,以满足特定的需求。一般说来,可以满足设计任务书及其指标规定的特定需求的工程项目的设计可能不止一个,因此,设计师还有一个重要的任务,就是通过选优得出能以高效率完成高品质、低风险和良好经济性的产品和工程项目的设计。

据此,工程设计学可定义为探讨工程设计的一般性规律,寻求以高效率完成高品质、低风险和良好经济性工程设计的途径的学科。它是随着技术进步、工业发展和设计师队伍剧增的客观形势而形成并发展起来的一门技术学科。在中国工程界,这门新的学科基本上还处于初创阶段。虽然不同的学者从不同的角度,对工程设计学所下的定义不尽相同,对这门学科所包含的内容也有不同的见解。不过,上述工程设计学定义所概括的内容,即使不是这门学科的全部,至少也是它的重要部分。相信工程设计界对这一点分歧不大。

人类利用天然的资源,创造和建设了现今的世界。这个创造和建设的进程,总的说来是一个加速前进的过程。人类现今赖以生活、工作和生产的一切用品,究其产生过程而言,不论形式如何,都必定有一个设计的过程。

二、卫星设计学

卫星设计学是卫星工程设计学的简称,是专门讨论卫星设计的工程设计学。按一般定义,卫星是人造卫星的简称。在本书中将航天器(在外层空间基本上按照天体力学规律运行的各类飞行器的总称)中的不载人航天器统称为卫星。

在地面上设计制造出来的卫星,必须依靠人为的办法使之到达外层空间,并获得在空间轨道上运行和工作的能力。外层空间是人类新近才进入的一个疆域。这个位于地球稠密大气层之外的新疆域广阔无垠,有着完全不同于地球上的陆地和海洋,也完全不同于包围地球的大气层的特殊环境。卫星必须进入还必须适应外层

空间的特殊环境。

进入外层空间的航天器是探索、研究和认识外层空间这个新疆域的特殊环境和开发、利用存在于其中的空间资源的工具。因此,可以将卫星视为进入并适应外层空间环境,能在这种特殊环境中完全自动化存活(运行和工作),以服务于地球上人类的特定需求的一类工程技术的人造物体。由于卫星与地球上和大气层内各种人造物很不相同,卫星又具有与其他高技术产品不同的特点,因此在设计卫星时,要特别注意卫星的独特之处,应该结合卫星这种特别强的个性来认识工程设计学的一般规律和运用一般的工程设计方法。卫星设计学也就是在这种认识的启示下提出来的。

卫星设计学可定义为探讨卫星设计的一般规律性,寻求以高效率完成在外层空间具有高品质的卫星设计的途径的学科。它是一门结合卫星很强的个性来探讨工程设计学一般共性的学科。

设计卫星的工程技术人员称为卫星设计师。卫星设计师和其他设计师一样,都应具备设计师应有的素质,但卫星设计师也有些特殊之处。这些特殊之处主要在于卫星设计师要掌握外层空间的自然环境方面知识,要掌握卫星在空间轨道上如何服务于地上人类的知识,要知道卫星是非常昂贵的、具有危险品性质的、高度自动化的高技术产品。卫星设计师在任何时候都不能忘记或忽略卫星是天上的东西,是在外层空间运行和工作、从天上服务于地面人类的这个基本点。

由于卫星具有不同于在地上(陆地和海洋)和大气层内使用的产品和工程项目的特殊性,就给卫星的设计和制造带来了很多的困难,使卫星事业始终摆脱不了高风险的困扰。因此,卫星设计师无一例外地都面临着风险。特别是卫星的主任设计师和总设计师,要分别对整个分系统和卫星负责,承担的风险显然很大,责任显然很重。这样,在卫星设计中探讨寻求低风险卫星的设计途径就显得很重要。

第二节 科学、技术和卫星设计

卫星设计是创造新的不载人航天器的一种技术活动。为了扩大卫星设计师的知识和视野,使他们正确地了解技术的概念和从技术概念出发在较高的层次上理解工程设计学及其分支——卫星设计学,有必要对科学和技术作一些简要的讨论。

一、科学和技术的区别

我们习惯于把科学和技术混在一起,不加区分,称之为科学技术或科技。也有相当多的人提到技术就少不了在其上加科学二字,把技术称之为科学技术。明明是一个技术专家,偏要称之为科学家。这些把科学硬拉到技术上,特别是认为科学高于技术和科学家高于技术专家的现象和看法,对科学和技术的发展都没有好处。为此,需要对它们作一定的说明。

科学和技术分属两个不同的范畴。虽然对科学和对技术的定义和解释,在学术界还有不一致之处。但是,在两者有本质区别和不应混同这一点上是没有分歧的。经综合一些讨论科学与技术问题的文章与著作,将科学与技术的主要区别点列于表 1-1 中,供参考。

表 1-1 概括的科学与技术的七点主要区别,从不同角度和观点看,肯定还会有不同意见。但是,这张表至少指出了在任务、形态、目的与生产和经济的关系、选题和管理方式等方面,科学与技术是有区别的,两者不能混同。

讨论科学与技术的区别,用意在于从较高的层次上和较大的范围内理解工程设计和卫星设计的性质。讨论科学与技术的区别,并不是要割离科学与技术的联系。自 18 世纪兴起产业革命以来,科学主要是科学家个人的研究活动、技术只局限于工艺和技能以及科学与技术关系不大的情况得到改变,出现了科学指导技术、技

术推动和支持科学发展的相互依存、相互促进和相互交叉、相互渗透的局面。1956年周恩来就讲过“基础科学的重大突破，往往推动整个科学技术的发展，带来重大的技术革新，以至技术革命，从而开拓出前所未有的全新生产领域。”核、计算机、航天、生物工程等现代高技术领域，正是这样开拓和发展起来的，并具有远大的前景。

表 1-1 科学与技术的区别

项 目	科 学	技 术
任 务	认识客观世界，探求客观真理，揭示事物发展规律	改造客观世界
形 态	纯知识形态	物质形态和能直接用于物化劳动的知识形态
目 的	寻求“是什么”、“为什么”和“能不能”的解答	寻求“做什么”、“怎样做”和“有什么用”的解答
与生产的关系	潜在的生产力	直接的生产力
与经济的关系	不确定的或长远的	确定的和直接的
选 题	从自身发展逻辑中选题，自由 度大	从社会需求中选题，目标明确
管理方式	柔性的，松散的，社会监督弱	硬性的，严密的，社会监督强

二、技术的定义

技术有多种定义。不同的时代、不同的学者对技术给出的定义也互有不同。本书从物质、能和信息三要素之间相互依存和相互联系的观点出发，来说明技术的定义。即：技术是对能、物质和信息的高级形式的经营；技术用高度有效的方式，以能为杠杆，不断扩大信息的交流和物质形态的变换，以满足人类的需求。这个定义基本上摆脱了把技术局限于技能、工艺、技巧等的理解，基本上说明了技术的领域，便于从较高层次上探讨某一项技术活动，例如卫星

设计。

从上述技术的定义,还可以作以下的推论:技术的水平主要表现在能的利用、信息交流、物质变换的能力和满足人类需求的有效程度上;技术的进步主要表现在能的利用、信息交流、物质变换能力的提高,对能、信息、物质经营水平和效率的提高,以及对需求满足程度的提高上。

对能、信息和物质的经营,客观上都存在获取、处理、运输和存储四种形式。因此,可以列一个表(表 1-1)来表示技术所覆盖的领域或范围。这个表所形成的 12 个框格,代表 12 项大的技术领域。例如,第一框格代表能的获取技术。从一般情况看,第一框格包括矿物能、有机能、水能、风能、太阳能、核能等各种各类能的获取技术。从特殊情况看,第一框格也可只表示某一类或某几类能的获取技术。其他框格的情况也类似。每个框格从一般情况看,代表这个领域的全部技术;从特殊情况看,也可只代表该领域中某一类或某几类技术。

表 1-2 的各列表示对能、信息和物质经营的整个状态的概括。尽管世上有数不清的大大小的技术行业,但如果把他们的活动抽象起来看,则总可归于获取、处理、运输和存储能、信息和物质的活动之中。能、信息、物质通过获取、处理、运输和存储而产生的时空关系和形态的改变,可分别称为能流、信息流和物质流。因此,也可以把技术说成是有目的和有效地组织能流、信息流和物质流,以改造客观世界、满足人类需求的高级经营形式。

根据上述技术的定义,从卫星是在外层空间高度自动化工作为地面服务的人造物来讲,卫星设计的技术本质可理解为:针对卫星的特殊个性,寻求和解决卫星在外层空间有目的和有效地组织能流、信息流和物质流的方法,以改造客观世界、满足人类需求的一种高级经营活动。

表 1-2 技术覆盖的领域或范围

经营方式	要素		
	能	信息	物质
获取	能的获取	信息的获取	物质的获取
处理	能的处理	信息的处理	物质的处理
运输	能的运输	信息的运输	物质的运输
存储	能的存储	信息的存储	物质的存储

第三节 卫星工程系统和卫星

卫星是卫星工程系统的有机组成部分。卫星工程系统是卫星的上一层次系统,或者说是在卫星的一种外部环境。而卫星本身又是由若干个相互关联的部分所组成,具有特定的内部结构。在设计卫星时,需同时考虑外部环境和内部结构两个方面。下面,对卫星工程系统及其主导成分——卫星作简要论述。

一、卫星工程系统的组成

卫星是进入外层空间,并适应外层空间环境,在此环境中运行和工作,以服务于地上特定需求的一种特殊的人造物。卫星一般是作为运载器的有效载荷,由运载器从地面上发射和运送入空间轨道的。就这种情况而言,可以说运载器是卫星实现其功能的前提。而运载器——运载火箭或空间运输系统,因其特殊的构形和发射起飞要求,必须在专用的发射场和发射工位才能发射。因此,可以说没有发射场就不能发射卫星。运载器携带卫星从发射场起飞直到入轨的飞行状态、飞行轨道和各种指令动作,又都要由地面的测控台站组成的测控网(系统)进行监测和控制。

卫星虽然是高度自动化的产品,但它的轨道一般要由地面测量,它的运行和工作情况一般也要由地面监测和控制。卫星为地上

特定需求服务,一般有两种途径,一种通过星地之间信息的交流,另一种由卫星或其返回舱返回地面直接带回空间活动的成果。对卫星的监测和控制,要依靠地面台站组成的卫星测控网。使用卫星为地面服务,则必须有专门的应用系统。

从上述可见,卫星对运载器、发射场、测控网和应用系统的关系是一种依存的关系,而运载器对发射场和它的测控网的关系也是一种依存的关系。也就是说,卫星不可能孤立存在,要拥有卫星必须同时拥有相应的运载器、发射场、测控网和应用系统,缺一不可。不然的话,不是卫星上不了天,就是上天后情况不明;或者是卫星上了天、并且运行和工作正常,但应用系统没有跟上,结果仍达不到满足地上人类特定需求的目的。

因此,必须有一个由卫星、运载器、发射场、测控网和应用系统等这些紧密结合又相互依存的部分所组成的整体,才能拥有卫星。这个由上述五项组成的整体,称为卫星工程系统,习惯上又称为卫星工程大系统。与此相应,上述五项则又是卫星工程系统的分系统。在卫星工程系统中,卫星是主导,其他的分系统有的是使卫星进入空间轨道的、有的是支持运载器和卫星的、有的则是卫星的服务对象。卫星工程系统的组成和各组成部分之间的主要关系见图 1-1。

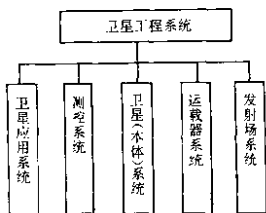


图 1-1 卫星工程系统