

导弹与航天丛书

卫星工程系列

卫星姿态动力学与控制

(2)

宇航出版社



数据加载失败，请稍后重试！

卫星姿态动力学与控制

(2)

主 编 屠善澄

副主编 邹广瑞

主编助理 潘科炎 王长龙

作 者 陈义庆 刘良栋 李 捷 刘国汉
王长龙 高益军 严拱添 孙承启
李宝绶 李铁寿 邵久豪 丁恩丰
倪行震

宇航出版社

内 容 简 介

《卫星姿态动力学与控制》是关于卫星姿态运动规律及其控制技术领域的专著。全书分四册,本书是第二分册——卫星姿态控制系统,重点阐明卫星姿态测量和姿态确定的基础知识,详细论述自旋卫星、双自旋卫星和三轴稳定卫星的姿态确定和控制技术以及应用空间环境力矩的姿态控制技术,最后详细介绍卫星姿态控制系统的测试技术。

本书内容丰富,其中很多是从研究和工程实践中归纳、综合、提炼并经过飞行验证的研究成果,实用性极强,既可作为从事卫星姿态控制系统研制的工程技术人员的参考书,也可作为高等院校相关专业的高年级学生和研究生的教学参考书。

卫星工程系列

卫星姿态动力学与控制(2)

主 编 屠善澄

副 主 编 邹广瑞

主编助理:潘科炎 王长龙

责任编辑:邱光纯、居自强

*

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 北京阜成路8号(1008 0)

北京科技印刷厂印刷

各地新华书店经销

*

开本:850×1168 1/32 印张:12.5 字数:332千字

1998年9月第1版第1次印刷 印数:1~1000册

ISBN 7 80144 339 X/V · 027 定价:25.00元

童子航天丛书

张之华

《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 李祖洪 马兴瑞 邹广瑞
陈宜元 范本尧 朱毅麟 马世俊
李旺奎 黄本诚 陆道中 高慎斌
王金堂 魏钟铨

丛书办公室主任：陆道中

成员：杨树仁 宋惠兰 樊涛

总 序

导弹与航天技术,是现代科学技术中发展最快的高新技术之一。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

《卫星姿态动力学与控制》是《导弹与航天丛书》卫星工程系列中关于卫星姿态运动及控制技术的基础理论和研究成果的专著，它是中国空间技术研究院北京控制工程研究所众多工程技术专家多年来从事卫星控制系统研制和工程实践的经验总结。本书力图根据多年来的研究、开发和实践经验，以对完成卫星总体任务具有重要应用需求的姿态控制技术为主，阐明人造地球卫星姿态的运动规律及其控制技术的基础理论和工程实践。但书中所涉及的大部分内容也适用于更广义的航天器姿态动力学和控制问题。

卫星的控制包括轨道控制和姿态控制两个方面。卫星姿态动力学研究卫星绕其质心的转动运动，而卫星姿态控制主要研究卫星姿态的确定和控制。姿态确定是利用姿态敏感器的测量数据根据姿态确定模型计算卫星相对于某个基准或目标的方位，姿态控制是把卫星姿态保持在给定方向或从原方向机动到另一要求方向的过程，它包括姿态稳定和姿态机动控制。

在轨运行的卫星都承担特定的空间探测、开发和应用的任務。为完成这类应用任务，要求卫星姿态正确地定向在给定的方向上或从原姿态机动到另一指向姿态。典型卫星姿态控制系统由姿态敏感器、控制器、控制执行机构与卫星动力学一起构成闭环控制回路。高性能卫星姿态控制系统是在姿态动力学、姿态确定和姿态控制建模的基础上运用经典或现代控制理论和方法实现的。

本书共分四个分册。第一分册——卫星姿态动力学；第二分册——卫星姿态控制系统；第三分册——卫星姿态敏感器；第四分册——卫星执行机构。

本书是理论和工程实践相结合的产物。全书内容丰富，其中很

多内容是从研制和工程实践中归纳、综合、提炼并经过飞行验证的研究成果,实用性极强,既可作为从事卫星姿态控制系统研究、设计、试验和应用的工程技术人员的参考书,也可作为高等院校相关专业的高年级学生和研究生的教学参考书。

本书原定篇幅甚巨,由于字数所限,最初撰写的稿件几经删节,有些作者的手稿内容甚至全部被忍痛割爱。参加本书写作的除各章署名的作者外,还有冯学义、孙全性、袁军、周文忠、孙宝祥、耿长福、吕振铎、林来兴、薛沐雍、叶培健、吕培书、陈志怡等同志,这些卫星控制工程技术专家对本书作出了重要贡献,谨向他们表示衷心感谢。

编者

1999年4月

目 录

第八章 卫星姿态测量和姿态确定基础	陈义庆
8.1 概述	(1)
8.2 姿态测量及姿态确定的基本原理和方法	(2)
8.3 空间基准场	(12)
8.4 姿态敏感器	(18)
第九章 自旋、双自旋卫星的姿态确定	刘良栋
9.1 概述	(23)
9.2 姿态信息测量	(24)
9.3 自旋轴姿态的几何确定法	(28)
9.4 姿态确定的精度	(36)
9.5 姿态确定的几何限制	(47)
9.6 章动测量	(50)
9.7 摇摆角的测定	(55)
第十章 三轴稳定卫星的姿态确定	李捷
10.1 利用地球敏感器和太阳敏感器确定卫星三轴姿态	(58)
10.2 利用星敏感器确定卫星三轴姿态	(71)
10.3 利用全球定位系统确定卫星三轴姿态	(77)
10.4 利用轨道罗盘确定卫星三轴姿态	(80)
第十一章 统计估计理论及其在卫星姿态确定中的应用	李捷
11.1 统计估计的基本原理	(88)
11.2 统计估计的基本方法	(92)
11.3 中国“东方红二号”通信卫星的姿态确定	(98)
11.4 中国返回式卫星的姿态确定	(101)

11.5	中国传输型对地观测卫星的姿态确定	(111)
------	------------------------	-------

..... (111)

第十二章 自旋、双自旋卫星的姿态控制

刘国汉 王长龙 高益军

12.1	概述	(120)
12.2	自旋、双自旋卫星的运动稳定性	(122)
12.3	自旋、双自旋卫星姿态控制的任务和方法	(128)
12.4	自旋、双自旋卫星的姿态机动	(134)
12.5	章动阻尼及控制	(140)
12.6	自旋、双自旋卫星的平旋及其恢复	(146)
12.7	消旋控制系统	(151)
12.8	现状及发展前景	(160)

第十三章 三轴稳定卫星的姿态控制

严拱添等

13.1	三轴稳定卫星的喷气控制	(167)
13.2	采用角动量交换装置的姿态控制系统	(187)
13.3	带挠性附件卫星的姿态控制	(228)
13.4	姿态捕获与姿态机动	(254)
13.5	变轨机动期间的姿态控制	(260)

第十四章 应用空间环境力矩的姿态控制技术

严拱添

14.1	概述	(281)
14.2	磁力矩姿态控制系统	(282)
14.3	重力梯度控制技术	(293)
14.4	太阳辐射压力矩控制	(303)

第十五章 卫星姿态控制系统的测试

邵久豪 丁恩丰 倪行震

15.1	概述	(312)
15.2	测试系统的组成	(314)
15.3	系统测试大纲及流程	(320)

15.4	电磁兼容性试验、环境试验及可靠性试验	(329)
15.5	卫星姿态控制系统的测试实例	(335)

第 八 章

卫星姿态测量和姿态确定基础

陈义庆

8.1 概述

为了完成飞行任务,通常需要确定卫星(本体)坐标系相对于某一参考坐标系或某一特定目标(如某天体)的姿态.姿态确定的信息,星上控制系统需要,地面测控系统也需要,星上有效负荷(包括有效载荷的用户)有时也需要.为了确定姿态,首先要有姿态测量,即用星上的姿态敏感器获取含有姿态信息的物理量,然后对其进行数据处理以获得姿态数据.这种数据处理可以用电子线路形式进行,但在目前星上普遍采用数字计算机的情况下,这种数据处理绝大部分是把物理量数字化以后,由计算机进行数据处理以获得所需姿态参数.姿态确定大多在星上实时进行,以提供星上控制系统形成控制回路所需的姿态信息.但有时也把姿态测量量发回地面,由地面进行姿态确定,以实施星-地大回路控制.姿态确定也有非实时的,例如返回式卫星返回地面,携带了在轨道运行时拍摄的星空可见光星象照片,根据星象照片即可确定拍摄时刻的卫星在惯性坐标系中的姿态,根据轨道参数及拍摄时刻即可确定星体在轨道坐标系中的姿态.这种事后依据星象照片处理得到的姿态具有很高的精度.