

导弹与航天丛书

卫星工程系列

卫星姿态动力学与控制

(1)

宇航出版社

卫星姿态动力学与控制

(1)

主 编 屠善澄

副主编 陈义庆

主编助理 潘科炎 李宝绶

作 者 屠善澄 陈义庆 严拱添 李铁寿
李宝绶

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的专著。全书分四册,本书是第一分册——卫星姿态动力学,重点阐述卫星姿态运动及其控制的作用和意义;简介姿态和姿态动力学基础知识及主要空间环境力矩的数学模型;详细论述自旋和双自旋卫星、三轴稳定卫星、重力梯度稳定卫星、带挠性附件卫星以及充液卫星的姿态动力学。

本书内容丰富,其中很多内容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(1)

主 编:屠善澄

副 主 编:陈义庆

主编助理:潘科炎 李宝绶

责任编辑:邱光纯 宋惠兰

*

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(100830)

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:8.625 字数:227千字

1999年9月第1版第1次印刷 印数:1~1000册

ISBN 7-80144-336-1/V·026 定价:18.00元

道
彈
子
航
天
一
書

張
克
勤

**《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

《卫星工程》 系列书目

(29分册)

- 119. 卫星工程概论(上)
- 120. 卫星工程概论(下)
- 121. 卫星工程管理
- 122. 卫星结构设计与分析(上)
- 123. 卫星结构设计与分析(下)
- 124. 航天器轨道动力学与控制(上)
- 125. 航天器轨道动力学与控制(下)
- 126. 卫星姿态动力学与控制(1)
- 127. 卫星姿态动力学与控制(2)
- 128. 卫星姿态动力学与控制(3)
- 129. 卫星姿态动力学与控制(4)
- 130. 卫星热控制技术
- 131. 航天器进入与返回技术(上)
- 132. 航天器进入与返回技术(下)
- 133. 卫星电源技术
- 134. 通信卫星有效载荷技术
- 135. 空间相机设计与试验
- 136. 气象卫星有效载荷技术
- 137. 卫星控制系统仿真技术
- 138. 卫星电测技术
- 139. 卫星制造技术(上)

- 140. 卫星制造技术(下)
- 141. 卫星环境工程和模拟试验(上)
- 142. 卫星环境工程和模拟试验(下)
- 143. 卫星无线电测控技术(上)
- 144. 卫星无线电测控技术(下)
- 145. 空间真空技术
- 146. 空间低温技术
- 147. 探空火箭设计

目 录

第一章 概论	屠善澄
1.1 卫星姿态控制的作用和意义	(1)
1.2 卫星姿态控制技术概述	(3)
1.3 姿态控制系统的设计和实现	(8)
1.4 发展与展望	(15)
第二章 姿态和姿态动力学基础	陈义庆
2.1 姿态参数及姿态角速度	(22)
2.2 姿态动力学和姿态动力学方程	(32)
2.3 坐标系	(42)
第三章 环境力矩	严拱添
3.1 重力梯度力矩	(49)
3.2 气动力矩	(54)
3.3 太阳辐射力矩	(61)
3.4 地磁力矩	(65)
第四章 自旋和双自旋卫星姿态动力学	李铁寿
4.1 刚体自旋和双自旋卫星姿态动力学	(75)
4.2 准刚体自旋卫星绕主轴旋转的稳定性	(85)
4.3 章动阻尼(发散)特性	(95)
4.4 自旋卫星变质量动力学	(98)
4.5 准刚体双自旋卫星绕主轴旋转的稳定性	(106)
4.6 双自旋卫星的摇摆运动	(113)
4.7 消旋过程中的动力学陷阱	(119)
第五章 重力梯度稳定卫星姿态动力学	李铁寿
5.1 重力场中刚体的运动	(136)

5.2	运动的稳定性	(142)
5.3	伸杆过程动力学分析	(147)
5.4	重力场中陀螺体的运动	(150)
第六章 带挠性附件卫星姿态动力学		李宝绥
6.1	概述	(162)
6.2	简单的带挠性附件卫星动力学	(163)
6.3	带挠性太阳帆板卫星动力学	(173)
6.4	计及推进剂消耗的带挠性太阳帆板卫星动力学	(185)
6.5	模态截断和溢出	(191)
第七章 充液卫星姿态动力学		李铁寿
7.1	基本概念和数学描述	(194)
7.2	充液自旋航天器的平衡状态及其稳定性	(200)
7.3	充液自旋航天器的微幅运动	(213)
7.4	细长体航天器的章动发散时间常数	(221)
7.5	有加速度时充液航天器的微幅运动	(233)
7.6	轴对称贮箱常重力晃动模型的建立	(243)

第 一 章

概 论

屠善澄

自从 1957 年 10 月 4 日第一颗人造地球卫星成功地进入地球轨道以来,航天技术有了飞速发展. 40 年的航天实践史表明:人类在不断研究、探索和利用空间的征途中已经取得巨大成就,并必将不断取得更大的成就,造福于人类. 而这一切都是建立在严格的科学分析推理和工程实践的基础之上的.《卫星姿态动力学和控制》一书试图根据多年来的研究开发实践经验,并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内容为主,阐述人造地球卫星的姿态运动规律及其控制技术的基础理论和实践. 但书中所涉及的大部分内容也适用于更广义的空间飞行器的姿态动力学和控制问题.

1.1 卫星姿态控制的作用和意义

在空间运行的物体,不论是自然天体或是人造天体,其运动可以分解为两部分:一部分是物体作为一个等效质点在所有外力(引力场的引力和非引力场的外力)的作用下所产生的质心平动运动,另一部分是物体在外力矩的作用下所产生的绕其质心的转动运动. 对卫星而言,前者是卫星轨道动力学的研究范畴,而后者则是