《国防科研试验工程技术系列教材》

导弹航天测量控制系统

# 航天器轨道确定

中国人民解放军总装备部军事训练教材编辑工作委员会

国防工业出版社

需要全本请访问 www.ertongbook.com

《国防科研试验工程技术系列教材》

导弹航天测量控制系统

# 航天器轨道确定

中国人民解放军总装备部

军事训练教材编辑工作委员会

国防工业出版社

·北京·

**图书在版编目(CIP)数据**

航天器轨道确定/中国人民解放军总装备部军事训练教材编辑工作委员会编.—北京：国防工业出版社，2003.4

国防科研试验工程技术系列教材·导弹航天测量控制系统

ISBN 7-118-02915-7

Ⅰ.航… Ⅱ.中… Ⅲ.航天器轨道－测量－教材 Ⅳ.V556.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 053253 号

国防工业出版社出版发行
(北京市海淀区紫竹院南路 23 号)
(邮政编码 100044)
国防工业出版社印刷厂印刷
新华书店经售
*
开本 850×1168 1/32 印张 10¼ 261 千字
2003 年 4 月第 1 版 2003 年 4 月北京第 1 次印刷
印数:1—4500 册 定价:27.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

# 内 容 简 介

本书针对卫星(人造地球卫星)和人造月球卫星,从工程技术角度出发,以轨道确定工作的计算流程为顺序,由浅入深,介绍了轨道确定过程中涉及的天体力学知识和目前我国在航天器测控工程中经常使用的轨道确定方法。主要内容包括轨道测量数据预处理、时间和坐标系统、以二体问题为基础的航天器初始轨道确定方法、影响航天器运动的主要摄动力模型及摄动运动方程的近似解析解和数值解、微分轨道改进和轨道预报等。最后,还介绍了人造月球卫星的轨道确定方法。本书可作为从事航天器测控工作的工程技术人员的参考书,也可作为相关领域研究生的教学参考书。

《国防科研试验工程技术系列教材·
导弹航天测量控制系统》

| 编号 | 教材名称 |
| --- | --- |
| 2-1 | 导弹航天测控总体　上册 |
| 2-2 | 导弹航天测控总体　下册 |
| 2-3 | 无线电跟踪测量 |
| 2-4 | 无线电遥测遥控　上册 |
| 2-5 | 无线电遥测遥控　下册 |
| 2-6 | 光电测量 |
| 2-7 | 航天器轨道确定 |
| 2-8 | 航天器飞行控制与仿真 |
| 2-9 | 航天测量船 |
| 2-10 | 测控计算机与监控显示系统 |
| 2-11 | GPS技术与应用 |
| 2-12 | 电磁兼容技术 |
| 2-13 | 外弹道测量数据处理 |
| 2-14 | 遥测数据处理 |
| 2-15 | 试验指挥与管理自动化系统 |
| 2-16 | 靶场大地测量 |

ISBN 7-118-02915-7/V·217
定价:27.00元

需要全本请访问 www.ertongbook.com

# 《国防科研试验工程技术系列教材》
# 总编审委员会


名誉主任委员　程开甲　李元正

主任委员　胡世祥

副主任委员　段双泉　尚学琨　褚恭信　马国惠

委　　员　（以下按姓氏笔画排列）

王国玉　刘　强　刘晶儒　张忠华

李济生　邵发声　周铁民　姚炳洪

姜世忠　徐克俊　钱卫平　常显奇

萧泰顺　穆　山

办公室主任　任万德

办公室成员　王文宝　冯许平　左振平　朱承进

余德泉　李　钢　杨德洲　邱学臣

郑时运　聂　皞　陶有勤　郭诠水

钱玉民

# 《国防科研试验工程技术系列教材·导弹航天测量控制系统》编审委员会


主任委员　段双泉

副主任委员　赵　军　罗海银　王文宝　董德义
周建生

委　　员　刘蕴才　陶有勤　于志坚　赵龙海
刘倬民　陈长贵　王渝贤　席　政
汪建平　刘增田　华仲春　钱玉民
沈自成　王　华　高德江　沈平山

主　　编　刘蕴才

副 主 编　何照才　张殿龙　张忠华

秘　　书　李国强

# 航天器轨道确定

主　编　李济生

副主编　王家松

主　审　刘　林

编著者　秦鹏高　张玉祥　叶　杰　马鹏斌

# 总　序

当今世界，科学技术突飞猛进，知识经济迅速兴起，国力竞争越来越取决于各类高技术、高层次人才的质量与数量，因此，作为人才培养的基础工作——教材建设，就显得格外重要和紧迫。为总结、巩固国防科研试验的经验和成果，促进国防科研试验事业的发展，加快人才培养，我们组织了近千名专家、学者编著了这套系列教材。

建国以来，我国国防科研试验战线上的广大科技人员，发扬“自力更生、艰苦奋斗、科学求实、大力协同、无私奉献”的精神，经过几十年的努力，建立起了具有相当规模和水平的科研试验体系，创立了一系列科研试验理论，造就了一支既有较高科学理论知识、又有实践经验，勇于攻关、能打硬仗的优秀科技队伍，取得了举世瞩目的成就。这些成就对增强国防实力，带动国家经济发展，促进科技进步，提高国家和民族威望，都发挥了重要作用。

编著这套系列教材是国防科研试验事业继往开来的大事，它是国防科研试验工程技术建设的一个重要方面，是国防科技成果的一个重要组成部分，也是体现国防科研试验技术水平的一个重要标志。它承担着记载与弘扬科技成就、积累和传播科技知识的使命，是众多科技工作者用心血和汗水凝成的科技成果。编著该套系列教材，旨在从总体的系统性、完整性、实用性角度出发，把丰富的实践经验进一步理论化、科学化，形成具有我国特色的国防科研试验理论与实践相结合的知识体系。一是总结整理国防科研试验事业创业40年来的重要成果及宝贵经验；二是优化专业技术教材体系，为国防科研试验专业技术人员提供一套系统、全面的教科书，满足人才培养对教材的急需；三是为国防科研试验提供有力的

技术保障;四是将许多老专家、老教授、老学者广博的学识见解和丰富的实践经验总结继承下来。

这套系列教材按国防科研试验主要工程技术范畴分为:导弹航天测试发射系统、导弹航天测量控制系统、试验通信系统、试验气象系统、常规兵器试验系统、核试验系统、空气动力系统、航天医学工程系统、国防科技情报系统、电子装备试验系统等。各系统分别重点论述各自的系统总体、设备总体知识,各专业及相关学科的基础理论与专业知识,主要设备的基本组成、原理与应用,主要试验方法与工作程序,本学科专业的主要科技成果,国内外的最新研究动态及未来发展方向等。

这套系列教材的使用对象主要是:具有大专以上学历的科技与管理干部,从事试验技术总体、技术管理工作的人员及院校有关专业的师生。

期望这套系列教材能够有益于高技术领域里人才的培养,有益于国防科研试验事业的发展,有益于科学技术的进步。

《国防科研试验工程技术系列教材》
总编审委员会
1999 年 10 月

# 序

导弹航天测量控制系统是国防科研试验工程中导弹试验工程和航天工程的重要组成部分。

40年来，我国导弹、航天测控技术人员坚持了自力更生的指导思想，严谨求实，团结奋战，建成了布局合理、系统完善、覆盖面广的导弹航天测控网，承担并完成了一系列导弹、运载火箭发射试验和卫星的跟踪、测量与控制任务，为我国导弹、航天事业的发展作出了重要贡献。

在导弹、航天测控网的建设、发展与使用管理过程中，几代科技人员投入了毕生的精力与智慧，付出了辛勤劳动，建立或创造了适应我国导弹航天测控实际的理论，积累了丰富的实践经验，取得了丰硕的成果。为了培养和造就新一代航天测控人才，使我国导弹、航天测控事业不断巩固和发展，将该系统40年来的理论与实践成果进行认真系统的整理总结，编写出一套既适应人才培养需要，又对试验工作具有指导与技术支持作用的系列教材，具有十分重要的现实意义和深远的历史意义。

本套教材以具有大专以上学历的导弹、航天测控工程技术人员和技术、计划协调管理人员为主要对象，以测控系统相关专业理论、系统组成、原理、工作程序、技术实施方案、方法以及测控技术的发展动态与发展方向等为主要内容，以测控系统理论基础、经验总结和总体工作与分析思路为重点，既可作为实际工作指导用书，亦可作为院校相关专业师生和测控设备研制人员的参考用书。

本套教材共分14卷。包括：《导弹航天测控总体》(上、下册)、《无线电跟踪测量》、《无线电遥测遥控》(上、下册)、《光电测量》、《航天器轨道确定》、《航天器飞行控制与仿真》、《航天测量船》、《测

需要全本请访问 www.ertongbook.com

控计算机与监控显示系统》、《GPS 技术与应用》、《电磁兼容技术》、《外弹道测量数据处理》、《遥测数据处理》、《试验指挥与管理自动化系统》和《靶场大地测量》。

本套教材在编写过程中，得到了有关部队、院校、设备研制生产单位的大力支持与协助，陈芳允、程开甲院士等老一代专家，为编写工作提出了很多宝贵的建设性意见，在此一并表示衷心的感谢。由于本套教材涉及专业面广，包含内容多，编著水平有限，书中难免有错误或疏漏之处，诚请读者予以指正。

《国防科研试验工程技术系列教材·
导弹航天测量控制系统》编审委员会
1999 年 10 月

# 前　言

随着航天技术的提高，航天器的应用越来越广泛。在通信、导航、气象、资源探测、军事、科研等领域航天器已成为不可或缺的工具。轨道确定是航天器测量、控制和应用的基础，是航天科研试验工程的关键技术之一。三十多年来我国在航天器轨道确定方面进行了大量的研究工作，在工程实践方面也取得了丰富的经验。本书是编写者多年从事航天器测控技术研究和试验的总结。本书针对人造地球卫星和人造月球卫星从工程技术角度出发，以轨道确定工作的计算流程为顺序，由浅入深地介绍了轨道确定过程中涉及的天体力学知识和目前我国在航天器测控工程中经常使用的轨道确定方法。本书第1章介绍了航天器轨道确定的任务和轨道确定方法的发展概况；第2章介绍了航天器轨道测量数据预处理方法；第3章介绍了轨道计算中常用的时间和坐标系统的定义；第4章和第5章以二体问题为基础介绍了航天器初轨确定方法和人轨监视方法；第6章介绍了影响航天器运动的主要摄动力模型，介绍了当前普遍使用的求解摄动运动方程的解析方法和数值方法，并给出了适合近地卫星轨道计算的近似解析解；第7章和第8章介绍了微分轨道改进方法和各种轨道预报的定义；第9章简要介绍了人造月球卫星的轨道确定方法。本书按中等定轨精度的要求编写，计算量不大，适用于航天器实时测控工程的需要，也适用于中等定轨精度要求的事后数据处理。对于高精度的定轨要求可参阅其它有关书籍。

编写本书的目的是为从事航天器测控工作的工程技术人员提供实用的轨道计算教材，为航天测控管理人员提供了解轨道计算基础知识的参考书，本书也可作为相关领域研究生的教学参考书。

本书共分九章，其中第1章和6.6节、6.7节、6.8节由李济生编写；第2章由叶杰编写；第3章、第7章、第8章和第9章由王家松编写；第4章和5.2节、5.3节、5.4节、6.9节由马鹏斌编写；5.5节由张玉祥编写；其它章节由秦鹏高编写。全书由南京大学天文系刘林教授主审，张荣之、王家松校对。

本书在编写过程中得到总装备部领导和测量通信总体研究所有关同志的大力支持与帮助，在此表示衷心感谢。

限于编写者水平，书中错误、疏漏和不妥之处在所难免，敬请读者指正。

编　者

2001年12月

# 目　录


**第 1 章　概论** …… 1
1.1　航天器轨道确定的任务和作用 …… 1
1.2　轨道确定方法的发展 …… 2
**第 2 章　轨道测量数据预处理** …… 6
2.1　超短波测速数据 …… 6
2.1.1　多普勒测速仪的测量元素 …… 7
2.1.2　电离层折射及其对电波传播的影响 …… 8
2.2　雷达测量数据 …… 10
2.2.1　雷达测量元素 …… 10
2.2.2　雷达测量的系统误差修正 …… 10
2.3　S 波段统一测控系统数据 …… 14
2.3.1　S 波段统一测控系统的测量元素 …… 14
2.3.2　系统误差修正 …… 16
2.4　星载 GPS 测量数据 …… 18
2.4.1　伪距测量 …… 19
2.4.2　载波相位测量 …… 20
2.4.3　差分定位 …… 23
2.4.4　GPS 定位测量 …… 24
2.5　测轨数据的预处理 …… 27
2.5.1　数据拟合 …… 27
2.5.2　异常测量数据的剔除 …… 29
2.5.3　拟合多项式阶数的确定 …… 31
**第 3 章　时间和坐标系统** …… 33
3.1　概述 …… 33
3.1.1　球面天文学的基本概念 …… 33

3.1.2 球面三角公式 …… 35
3.1.3 旋转矩阵 …… 37
3.1.4 岁差、章动和极移 …… 39
3.1.5 大地坐标和天文坐标 …… 48
3.2 时间系统的定义 …… 52
3.2.1 真太阳时和平太阳时 …… 52
3.2.2 恒星时 …… 53
3.2.3 国际原子时 …… 54
3.2.4 世界时 …… 54
3.2.5 协调世界时 …… 55
3.2.6 动力学时 …… 56
3.3 时间系统之间的转换 …… 57
3.3.1 由协调世界时至国际原子时和地球时的转换 …… 57
3.3.2 由协调世界时至世界时的转换 …… 57
3.3.3 由世界时到格林尼治恒星时的转换 …… 57
3.3.4 儒略日和格里历日期之间的转换 …… 58
3.4 坐标系统的定义 …… 60
3.4.1 发射坐标系 …… 60
3.4.2 发射惯性坐标系 …… 60
3.4.3 1950.0 轨道坐标系 …… 61
3.4.4 2000.0 轨道坐标系 …… 61
3.4.5 测站坐标系 …… 61
3.4.6 地固坐标系 …… 62
3.4.7 卫星本体坐标系 …… 62
3.4.8 2000.0 惯性坐标系 …… 62
3.5 坐标系之间的转换 …… 62
3.5.1 发射坐标系到发射惯性坐标系的转换 …… 62
3.5.2 发射惯性坐标系到 2000.0 轨道坐标系的转换 …… 64
3.5.3 地固坐标系到测站坐标系的转换 …… 65
3.5.4 2000.0 轨道坐标系到地固坐标系的转换 …… 66
3.5.5 2000.0 惯性坐标系到 2000.0 轨道坐标系的转换 …… 66
3.5.6 卫星本体坐标系到 2000.0 轨道坐标系的转换 …… 66

3.5.7 1950.0 轨道坐标系到 2000.0 轨道坐标系的转换 …… 67
**第 4 章 二体问题** …… 68
4.1 二体问题的 6 个积分 …… 68
4.1.1 动量矩积分 …… 68
4.1.2 轨道积分 …… 69
4.1.3 活力积分 …… 70
4.1.4 由万有引力导出的开普勒第三定律 …… 71
4.1.5 开普勒方程 …… 71
4.2 椭圆运动的常用公式 …… 73
4.2.1 前面给出的一些关系式 …… 73
4.2.2 椭圆运动各量之间的几何关系 …… 73
4.2.3 椭圆运动中一些量对轨道根数的偏导数 …… 74
4.2.4 3 种近点角 $M,E,f$ 与时间 $t$ 之间的微分关系 …… 74
4.3 椭圆运动的展开式 …… 75
4.3.1 $\sin kE$ 和 $\cos kE$ 的展开式 …… 76
4.3.2 $E,\frac{r}{a}$ 和 $\frac{a}{r}$ 的展开式 …… 76
4.3.3 $\sin f$ 和 $\cos f$ 的展开式 …… 77
4.3.4 $f$ 的展开式 …… 77
4.3.5 $\left(\frac{r}{a}\right)^n\cos mf$ 和 $\left(\frac{r}{a}\right)^n\sin mf$ 的展开式 …… 77
4.3.6 $\left(\frac{a}{r}\right)^p,E,f-M$ 对 $f$ 的展开式 …… 80
4.4 由开普勒根数计算卫星位置速度矢量 …… 81
4.5 由卫星位置速度矢量计算开普勒根数 …… 82
**第 5 章 实时轨道监视和初轨确定** …… 84
5.1 利用轨道测量数据进行轨道监视 …… 84
5.2 利用运载火箭遥测数据进行轨道监视和初轨确定 …… 85
5.2.1 利用运载火箭秒节点遥测数据计算其位置速度 …… 86
5.2.2 利用运载火箭关机点遥测数据计算其位置速度 …… 87
5.3 用雷达测量数据 $\rho$、$A$、$E$ 确定卫星初轨的方法 …… 89
5.4 双频测速数据定初轨 …… 94
5.5 多种观测数据短弧定轨方法 …… 99

需要全本请访问 www.ertongbook.com