



中国航天科技前沿出版工程·中国航空间信息技术系列

“十二五”国家重点图书出版规划项目



Fusion Processing and Accuracy Analysis
of Space Trajectory Measurement

空间轨迹测量 融合处理与精度分析

北京跟踪与通信技术研究所
刘利生 郭军海 刘元 张艳 余浩章 著



清华大学出版社



中国航天科技前沿出版工程·中

“十二五”国家重点图书出版

Fusion Processing and Accuracy Analysis
of Space Trajectory Measurement

空间轨迹测量 融合处理与精度分析

刘利生 郭军海 刘元 张艳 余浩章 著

清华大学出版社

内 容 简 介

本书系统地论述了导弹和航天器空间轨迹测量融合数据处理与精度分析技术的基本原理。主要内容包括:导弹和运载火箭飞行试验时各种外测体制测量和解算弹道参数的方法和公式,以及外弹道测量精度分析的原理、方法和公式;航天器轨道运行时测轨系统测量和确定轨道参数的方法、公式,以及相应的轨道测量精度的分析方法和公式。特别是详细地阐述了对导弹和航天器在空域和时域上多信息测量源融合处理的技术和方法,推导了不同测量体制应用多种数学建模形式得到灵活多变的融合处理解算方法和表示式,以及对应的测量精度分析方法和公式。

本书可供从事导弹和航天测控系统总体设计、精度评定、数据处理工作及相关专业的科研人员以及高等院校的高年级本科生、研究生和教师阅读。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

空间轨迹测量融合处理与精度分析 /刘利生等著. --北京:清华大学出版社,2014
中国航天科技前沿出版工程·中国航天空间信息技术系列/钱卫平主编
ISBN 978-7-302-38187-7

I. ①空… II. ①刘… III. ①飞行轨迹—测量—研究 IV. ①V412.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 225928 号

责任编辑:石磊 赵从棉

封面设计:傅瑞学

责任校对:赵丽敏

责任印制:李红英

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编:100084

社总机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 装 者:北京雅昌艺术印刷有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:153mm×235mm 印 张:28.25

字 数:490 千字

版 次:2014 年 9 月第 1 版

印 次:2014 年 9 月第 1 次印刷

印 数:1~1500

定 价:138.00 元

中国航天空间信息技术系列

编审委员会

主 任：钱卫平

副主任：董光亮 吴正容 朱天林

委 员：孙 威 郭军海 李海涛 赵宗印 李 平

柳忠贵

秘 书：陈凌晖

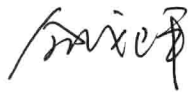
人类探索宇宙的步伐正随着航天技术的发展逐步加快。21 世纪,航天技术及能力的迅速成熟,促使其更加深入地渗透到人们生产生活的各个方面,成为科技、经济领域中强劲的增长点;同时,还使其强烈释放出空间力量的效能,在国家安全领域受到越来越广泛的关注。

空间信息技术作为航天技术的重要组成部分,其发展水平对航天系统整体技术和能力起着关键的支撑和促进作用,日益得到国内外航天领域专家与工程技术人员的重视。随着载人航天工程与月球探测工程的圆满完成,中国已经成为具有独立开展太空探索能力的航天大国。中国在航天技术领域的进步离不开空间信息技术的支持,航天工程的实施也凝结出一系列空间信息技术的成果与经验。

要满足航天技术迅速发展的需要,空间信息技术仍面临种种挑战。这些挑战既有认识层面的,也有理论、技术和工程实践层面的。如何解放思想,在先进理念和思维的牵引下,取得理论、技术以及工程实践上的突破,是我国相关领域科研、管理及工程技术人员必须思考和面对的问题。

北京跟踪与通信技术研究所作为直接参与国家重大航天工程的总体技术单位,主要担负着导航通信、空间操作等领域的空间信息技术总体规划与设计工作,长期致力于推动空间信息技术的研究和发展。为及时总结一线科技人员的理论成果、技术创新及工程实践经验,促进经验向理论的升华,北京跟踪与通信技术研究所组织策划了“中国航空间信息技术系列”丛书。本丛书涉及专业面广泛,既有理论研究的创新突破,也有实践经验的系统总结,相信对我国航天领域,特别是空间信息技术领域的科技工作者和工程技术人员,一定能够提供有益的帮助与借鉴。

北京跟踪与通信技术研究所



2014 年 6 月

空间轨迹测量的范围和内容是非常宽广的,这里指导弹和运载火箭的外弹道测量和航天器的轨道测量。外弹道测量是由天、地基的光学和无线电外测系统跟踪导弹或运载火箭飞行弹道所获取的测量数据,经数据处理后提供其弹道参数(轨迹)的过程,为导弹和运载火箭的技术性能和精度评定及改进,为安全控制系统实时提供安全信息,为航天器系统提供运载火箭入轨参数等使用。轨道测量是由天、地基无线电测轨系统,跟踪航天器(人造地球卫星、航天飞船等)运行轨道所获取的测量数据,经数据处理后提供航天器在空间运行的精确轨道(根数、状态)并预报未来轨道的过程,保障航天器运行时的轨道安全控制、确保其按正常姿态和预定轨道运行及返回,使航天系统完成规定的航天任务等。因此,外弹道测量和轨道测量是导弹和航天器飞行试验工程中不可或缺的重要组成部分,对于保障完成它们的发射试验任务、促进其技术水平提高和发展具有重要作用。

随着导弹和航天器技术发展的需要,各种用途和类型的导弹、航天器越来越多,其试验的内容越来越丰富,对弹道和轨道的测量要求越来越高,这也大大增加了外弹道测量和轨道测量技术的难度和复杂性。为此,除了要求进一步地提高和发展外弹道测量和轨道测量的技术水平外,还必须不断地提高和改进相应的数据处理技术水平,才能满足新的试验任务的要求。近几十年来,试验发射场在逐步完成建立相应测控网的基础上,积极开展和应用融合数据处理技术和方法。在空域和时域上充分地融合了多信息源的测量数据,巧妙地利用数学建模技术和统计估计理论,对于自校准测量系统误差和精确地估算外弹道、轨道方法做了积极有效的尝试。特别是在一些远程洲际导弹试验中,应用了 B 样条函数拟合弹道参数的样条约束“EMBT”自校准技术,大大地浓缩待估计参数的个数,有效地增加了测量数据的冗余度,显著地提高所解算弹道参数的精度和可信度,对于保障远程洲际导弹飞行试验的精度评定和定型起到了积极的作用。

本书系统地总结了几十年来外弹道测量和轨道测量融合数据处理技术的发展,详细地阐述了试验场各种测量体制及联合测量的弹道和轨道解算方法,以及相应的测量精度分析的理论估算方法。尤其是近几年来作者对弹道样条约束“EMBT”自校准融合处理技术作了进一步探讨和研究,利

用数学建模技术得到了不同测量体制灵活多变的融合处理的表示和解算方法,使融合处理技术能够更好地为工程应用服务;并且相应地推导了适用于外测系统总体设计工作的弹道测量精度理论估算的解析表达式,可以使人们方便地应用弹道测量融合处理技术并指导总体设计工作。同样地,本书对航天发射场测轨系统的不同测量体制建立了动力学模型,推导出适用于轨道测量系统总体设计与数据处理工作的轨道确定方法,以及相应的测轨精度分析方法和表达式。

全书共分10章,第1章绪论,第2章测量精度分析原理及方法,第3章单一测量体制解算弹道方法,第4章单一测量体制解算弹道精度分析,第5章联合测量解算弹道方法,第6章联合测量解算弹道精度分析,第7章弹道测量融合处理方法,第8章弹道测量融合处理方法精度分析,第9章航天器轨道确定方法,第10章轨道确定方法的精度分析。其中,郭军海研究员编写了第4、5章,余浩章工程师编写了第3章,刘元工程师编写了第2、6章,张艳高级工程师编写了第10章,刘利生研究员编写了第1、7、8、9、10章,全书由刘利生统稿。

本书的编写得到所在单位北京跟踪与通信技术研究所的领导和机关的大力支持和帮助。钱卫平、吴斌、董光亮和吴正容几位研究员对本书的编写和出版给予了极大的关心和支持,提出了许多具有指导意义的建议;李波研究员、李巍高级工程师和孙威高级工程师除了积极支持和关心本书的编写和出版外,还为编著人员创造了良好的环境;陈凌晖、陈浩、石晟玮、权思及、华煜明等同志为本书的编写、打印和组织等做了大量烦琐而有意义的工作。在此,对他们的辛勤劳动和热情帮助一并表示衷心的感谢。

编者本着专著的特点和要求,力求突出思想新颖、具有创新性的知识和内容,以促进空间轨迹测控专业技术水平的提高和发展。由于编者的理论和学术水平有限,书中难免有不妥或错误之处,恳请广大读者批评指正。

作 者

2014年8月

第 1 章 绪论	1
1.1 空间轨迹测量	2
1.1.1 空间轨迹测量的作用和地位	2
1.1.2 空间轨迹测量精度分析	3
1.1.3 空间轨迹测量融合处理技术	6
1.2 测量误差与误差源	9
1.2.1 测量与分类	9
1.2.2 测量误差与分类	10
1.2.3 外弹道测量的误差源	12
第 2 章 测量精度分析原理及方法	17
2.1 外弹道测量精度的主要影响因素	18
2.1.1 飞行试验弹道	19
2.1.2 外弹道测量体制	21
2.1.3 测量元素的误差	23
2.1.4 布站设计与测量几何	23
2.1.5 弹道参数解算方法	26
2.1.6 总误差和综合因素	27
2.2 外测体制分类	28
2.2.1 测角体制	28
2.2.2 测距测角体制	29
2.2.3 测距体制	30
2.2.4 距离及距离差体制	31
2.2.5 距离和测量体制	33
2.3 测量误差传播的精度估算方法	36
2.3.1 测量误差传播原理	36
2.3.2 外弹道测量误差传播的理论公式	38
2.4 测量精度的仿真估计方法	40
2.4.1 测量量仿真模拟	40
2.4.2 弹道参数的解算	43

2.4.3	测量精度仿真估算方法的步骤	43
第3章	单一测量体制解算弹道方法	45
3.1	nAE 体制解算弹道方法	46
3.1.1	“L”、“K”和“M”公式	46
3.1.2	方向余弦法	49
3.1.3	最小二乘估计法	51
3.1.4	递推最小二乘估计方法	52
3.1.5	弹道速度和加速度解算方法	54
3.2	RAE 体制解算弹道方法	55
3.2.1	单站测量弹道位置参数解算方法	56
3.2.2	多站交会测量弹道位置参数解算方法	56
3.2.3	速度和加速度参数解算方法	57
3.2.4	其他参数计算方法	59
3.3	$nR\dot{R}$ 体制解算弹道方法	59
3.3.1	$3R\dot{R}$ 测元解算弹道方法	60
3.3.2	多 $R\dot{R}$ 测元解算弹道方法	65
3.4	干涉仪体制解算方法	67
3.4.1	测量方程	67
3.4.2	最小二乘估计方法 1	68
3.4.3	最小二乘估计方法 2	71
3.5	RAE 和 $3R\dot{R}$ 体制解算弹道方法	72
3.6	RAE 和 $\dot{R}$ 、 $\dot{P}$ 、 $\dot{Q}$ 体制解算弹道方法	73
3.7	多站 S 、 $\dot{S}$ 体制解算弹道方法	74
第4章	单一测量体制解算弹道精度分析	75
4.1	nAE 体制测量精度分析	76
4.1.1	位置参数测量精度分析	76
4.1.2	速度参数测量精度分析	81
4.2	RAE 体制测量精度分析	82
4.2.1	位置参数测量精度分析	82
4.2.2	速度参数测量精度分析	86

4.3	$n\dot{R}\dot{R}$ 测量体制测量精度分析	86
4.3.1	位置参数测量精度分析	86
4.3.2	速度参数测量精度分析	91
4.4	RAE 和 $3\dot{R}$ 体制测量精度分析	96
4.4.1	弹道位置参数精度分析	96
4.4.2	弹道速度参数精度分析	97
4.5	干涉仪测量体制测量精度分析	103
4.5.1	位置参数测量精度分析	104
4.5.2	速度参数测量精度分析	107
第 5 章	联合测量解算弹道方法	113
5.1	两套干涉仪联测解算弹道方法	114
5.1.1	最小二乘估计方法	115
5.1.2	递推最小二乘估计方法	116
5.2	单套干涉仪与多站连续波系统联测解算弹道方法	117
5.2.1	最小二乘估计方法	117
5.2.2	递推最小二乘估计方法	119
5.3	多套连续波系统联测解算弹道方法	120
5.4	RAE 与 $n\dot{S}$ 测量体制联测解算弹道方法	123
5.5	$n_1\dot{R}\dot{R}$ 和 $n_2\dot{S}$ 测量体制联测解算弹道方法	124
5.5.1	测量方程	125
5.5.2	最小二乘估计——非线性化方法	125
5.5.3	最小二乘估计——线性化方法	126
5.5.4	递推最小二乘估计	128
第 6 章	联合测量解算弹道精度分析	131
6.1	两套干涉仪联测精度分析	132
6.1.1	弹道位置参数测量精度分析	133
6.1.2	弹道速度参数测量精度分析	138
6.2	单套干涉仪与多站连续波系统联测精度分析	145
6.2.1	弹道位置参数测量精度分析	145
6.2.2	弹道速度参数测量精度分析	150
6.3	两套干涉仪和两套多站连续波系统联测精度分析	158

6.3.1	弹道位置参数测量精度分析	159
6.3.2	弹道速度参数向量测量精度分析	164
6.4	RAE 与 $n\dot{S}$ 测量体制联测精度分析	174
6.4.1	弹道位置参数精度分析	174
6.4.2	弹道速度参数精度分析	174
6.5	$n_1R\dot{R}$ 和 $n_2\dot{S}$ 测量体制联测精度分析	180
6.5.1	弹道位置参数精度分析	181
6.5.2	弹道速度参数精度分析	185
第 7 章	弹道测量融合处理方法	195
7.1	样条多项式	196
7.1.1	弹道运动的多项式描述方法	196
7.1.2	B 样条函数	197
7.2	弹道样条约束表示及解算方法	199
7.2.1	弹道参数的样条函数表示	199
7.2.2	样条系数向量解算方法	203
7.3	常用测量体制的弹道样条约束解算方法	206
7.3.1	RAE 测量体制解算弹道方法	206
7.3.2	$n\dot{S}$ 测速体制解算弹道方法	209
7.3.3	$nR\dot{R}$ 测量体制解算弹道方法	217
7.3.4	多种测量体制解算弹道方法	224
7.4	弹道样条约束的 EMBET 方法	228
7.4.1	EM BET 自校准技术	228
7.4.2	弹道样条约束的 EMBET 方法	232
7.5	常用测量体制的自校准方法	234
7.5.1	RAE 测量体制的自校准方法	234
7.5.2	$n\dot{S}$ 测量体制的自校准方法	238
7.5.3	$nR\dot{R}$ 测量体制的自校准方法	243
第 8 章	弹道测量融合处理方法精度分析	249
8.1	单一测量体制测量精度分析	250
8.1.1	RAE 测量体制精度分析	250

8.1.2	$n\dot{S}$ 测量体制精度分析	256
8.1.3	$nR\dot{R}$ 测量体制精度分析	273
8.2	联合测量精度分析	288
8.2.1	单脉冲雷达与 $n\dot{S}$ 测速系统联测精度分析	289
8.2.2	$n_1R\dot{R}$ 测量系统与 $n_2\dot{S}$ 测速系统联测精度分析	303
第 9 章	航天器轨道确定方法	315
9.1	开普勒定律与轨道根数	316
9.1.1	开普勒定律和二体运动	316
9.1.2	轨道要素的确定	317
9.1.3	无摄运动的运动方程和轨道根数	320
9.1.4	二体问题航天器轨迹计算	327
9.2	初始轨道确定方法	330
9.2.1	状态向量计算轨道根数的方法	330
9.2.2	测元 RAE 计算初轨方法	332
9.3	轨道确定方法	333
9.3.1	二体运动的轨道运动方程	333
9.3.2	非递推处理轨道计算方法	337
9.3.3	递推处理轨道计算方法	339
9.3.4	轨道受摄运动方程	341
9.3.5	测元 RAE 确定轨道的解析表示式	344
9.3.6	测元 $R\dot{R}$ 确定轨道的解析表示式	354
9.3.7	测元 $RAE\dot{R}$ 确定轨道的解析表示式	357
第 10 章	轨道确定方法的精度分析	359
10.1	RAE 测量体制的精度分析	360
10.1.1	轨道状态参数向量 $\bar{\mathbf{X}}_0$ 精度分析	360
10.1.2	轨道状态参数向量 $\bar{\mathbf{X}}_j$ 精度分析	368
10.1.3	轨道根数向量精度分析	369
10.2	$RAE\dot{R}$ 测量体制的精度分析	370
10.2.1	轨道状态参数向量 $\bar{\mathbf{X}}_0$ 精度分析	370
10.2.2	轨道状态参数向量 $\bar{\mathbf{X}}_j$ 精度分析	380

10.2.3	轨道根数向量精度分析	381
10.3	$nR\dot{R}$ 测量体制的测量精度分析	381
10.3.1	轨道状态参数向量 $\bar{\mathbf{X}}_0$ 精度分析	382
10.3.2	轨道其他状态参数向量精度分析	393
附录 A	常用的地球和天球坐标系	394
A.1	天体与大地测量基本知识	394
A.1.1	天体知识	394
A.1.2	大地测量知识	396
A.2	常用地球和天球坐标系	401
A.2.1	地球坐标系	402
A.2.2	天球坐标系	405
A.2.3	坐标系转换	407
A.2.4	坐标系转换的新方法	416
附录 B	线性模型的参数估计	418
B.1	高斯估计	418
B.2	马尔可夫估计	420
B.3	递推最小二乘估计	422
B.4	逐步回归最小二乘估计	424
B.5	线性约束最小二乘估计	426
B.5.1	线性约束的高斯估计	426
B.5.2	线性约束的马尔可夫估计	427
B.6	非线性最小二乘估计	428
B.6.1	模型线性化方法	429
B.6.2	改进的 G-N 迭代法	430
名词索引		431
参考文献		433

第1章

绪论

1.1 空间轨迹测量

1.1.1 空间轨迹测量的作用和地位

空间轨迹测量含义的范围和内容是非常宽广的。由于人类的生存、活动、发展和进步的需要,为探索、研究、开发和利用之目的,对于人类在地球大气层内、外空间释放的一切人造物体的空间活动都要进行跟踪、测量和监视,并且要求收集、传递服务于人类科学研究、空间探索、国民经济和国防军事等的所有信息(含图像)、数据和资料。

通常人们将人造物体统称为飞行器。根据在地球外空间活动的范围,人类将人造物体分为航空器、导弹与运载火箭、航天器三类。在此所讨论的是弹道式导弹和运载火箭飞行试验的外弹道测量,以及人造地球卫星和航天飞船发射运行的轨道测量,并且主要讨论关于它们的空间轨迹融合测量和数据处理技术,及其测量精度的理论分析和估算方法。

外弹道测量是指利用天地基的光学和无线电外测系统,跟踪测量导弹或运载火箭飞行弹道所获取的数据,并经数据处理后提供导弹或运载火箭飞行试验弹道参数(轨迹)的过程。外弹道测量的主要目的是为导弹或运载火箭技术性能和精度的评定、设计、改进和定型提供其精确的飞行弹道参数,并且为安全控制系统实时地提供安全信息,为各级指挥系统提供监视信息,为应用系统提供有关数据、资料等。导弹从方案设计阶段开始,直到定型生产,需要经过大量的阶段性试验,如重要元器件研制试验、关键技术验证试验、分系统试验、全系统试验等,但最全面、最权威的试验是飞行试验,飞行试验所测量的射程落点和实测弹道数据是导弹设计、改进和定型最有说服力的依据。为配合导弹的研制、改造和定性试验,在发射试验场配备了大量精密的测量设备来测量和监视导弹的发射、飞行和再入过程,遥测系统负责测量导弹内部部件的工作状况以及导弹的飞行环境和制导数据,而光学和无线电外测系统(含卫星导航测量的天基测量系统)负责测量导弹的空间飞行轨迹。

运载火箭用于发射各种不同性能和应用目的的卫星和航天器,将它们送到预定的轨道,其制导系统与导弹基本相同。航天发射场的测控系统主要是监视飞行,确保安全,其外弹道测量数据也是分析、评价和鉴定制导系统精度及性能的重要信息源。

综上所述,外弹道测量是导弹和航天飞行试验工程中不可或缺的重要

组成部分,对于完成飞行试验任务及促进其技术水平的提高和发展具有重要的作用。

航天器轨道测量是利用天地基无线电测轨系统,跟踪测量航天器(人造地球卫星、航天飞船等)运行轨道所获取的测量数据,经处理后提供航天器在空间运行的精确轨道并预报轨道为航天任务提供所需数据的过程。航天器轨道测量和处理的轨道参数主要用于航天器运行时的轨道姿态控制,确保其按正常姿态和预定轨道运行和返回,使航天系统完成规定的航天任务;评定航天器的技术性能和改进设计;为各级指挥系统提供监视、显示和决策信息;为承担航天器轨道测量的测轨系统及时捕获和跟踪目标,提供测量预报和引导信息;为航天应用系统提供实时和事后所需的信息和数据。

在航天器飞行任务的各阶段和整个飞行任务结束后,航天测控系统都需要向航天器各系统提供航天器的精确轨道与姿态数据、遥测数据以及对航天器进行全程控制信息等资料,供各系统进行准实时或事后的详细分析和技术设计改进使用,也可作为有效载荷应用数据处理的基准信息。

由此可见,航天测轨系统是航天系统不可缺少的重要组成部分,轨道测量与数据处理是航天系统发射任务的重要组成部分,对于完成航天发射任务、促进其技术水平提高和发展具有重要的地位和意义。

1.1.2 空间轨迹测量精度分析

1. 外弹道测量精度分析

远程导弹摧毁目标的能力取决于摧毁目标的爆炸力、将战斗部送到远距离目标的能力和命中(落点)精度三个条件。因此,考核和评定导弹命中精度是飞行试验任务的重要目的之一,也是武器定型和改进设计的重要依据,而导弹命中精度评定的重要依据是外弹道测量数据。

早期,中近程甚至中远程导弹飞行试验,因其射程近、命中精度较低,主要通过特征点(主动段关机点、再入点和落点)的外测数据评定它们各自的精度和总精度,即三大段(主动段、自由飞行段和再入段)的精度评定方法。随着导弹技术发展,射程不断地增加,命中精度也不断地提高,有时远程洲际导弹飞行试验采用特殊弹道飞行试验方案,命中精度的评定方法也发生了变化。对于影响导弹命中精度最重要的主动段弹道的精度评定,常采用由全弹道精确测量的外测数据与遥测数据比对分离导弹制导系统工具误差的评定技术。为此需要试验场布置许多精密的外弹道测量系统,对主动段弹道进行高精度测量。相应地,在再入场区也布设了许多光学测量设备和单脉冲雷达对导弹再入弹道进行精密测量。

因此,根据导弹的命中精度和精度评定方法,将它分为三大段弹道精度指标,成为外弹道测量总体方案论证和设计的依据。据此,外弹道测量进行测量体制、设备的数量与组合的论证,综合各种因素要求(跟踪覆盖、跟踪性能、观测几何最优、避开火箭尾焰影响等要求)的测量站址选择,以及测量元素的各误差源(设备误差、电波折射误差、光速不准误差、频率不准误差、时间同步误差和大地测量误差,有时还需考虑数据处理方法误差)对精度影响的分析和指标的分配等一系列外测系统总体设计与论证工作,最后完成外测系统总体方案的制定。这些工作的中心是围绕外测系统进行系统的精度分析和设计,即外弹道测量精度的分析和估算。它是根据外测系统各测量元素的精度、主要误差源的理论指标和解算弹道参数的方法,在设置测站站址的条件下,理论估算所解算弹道参数的精度,这是外测系统总体方案论证、设计和制定的一项极为重要的工作内容,只有经过大量和充分地对外弹道测量精度的估算和分析,才能最终设计和制定出符合外测精度要求的外测系统总体方案。对于不同型号的导弹,因其射程、命中精度、飞行弹道等不同,一般每个型号试验都需要论证、设计和制定相应的外测系统总体方案,以满足该型号试验的测量精度要求。

在外测系统总体方案论证和设计中,最常用的外弹道测量精度估算方法是以误差传播理论为基础的理论估算方法。首先根据各测量系统或设备的主要误差源的理论值,按照与测量元素之间确定的关系式传播成相应的测量元素误差,再由解算弹道参数的方法和表达式计算出传播到弹道参数的误差。在工程中,考虑的是多个变量与多个变量间的转换,因此,常用误差协方差阵的形式来表示它们之间的误差传播关系。

由于工程中测量元素与待解算的弹道参数之间常是非线性的复杂函数关系式,利用前述方法估算理论精度常存在着难以用显著的解析式表示的问题。随着计算机和计算技术的发展,人们有时改用仿真模拟方法来估算拟合分析外弹道测量精度,也就是数值计算分析方法。

本书主要论述试验场外测系统的各种测量体制,以及解算弹道参数方法、外弹道测量精度估算的原理和方法,并详细地推导了对应的精度估算公式;特别地,在外弹道融合测量时推导了融合处理解算弹道参数的方法以及对应的测量精度估算方法和公式。

2. 轨道测量精度分析

精确确定航天器的运行轨道是航天器轨道测量系统的重要任务和工作内容。在航天器运行阶段,要完成航天系统规定的航天任务,必须由测轨系