



航天测量船海上测控技术丛书

航天测量船 海上测控技术概论

主 编 简仕龙

副主编 费加兵 刘 冰



国防工业出版社

National Defense Industry Press

航天测量船海上测控技术丛书

航天测量船 海上测控技术概论

主 编 简仕龙
副主编 费加兵 刘冰

国防工业出版社

·北京·

图书在版编目(CIP)数据

航天测量船海上测控技术概论 / 简仕龙主编. —北京:
国防工业出版社, 2009.1

(航天测量船海上测控技术丛书)

ISBN 978 - 7 - 118 - 05913 - 7

I. 航... II. 简... III. 航天 - 测量船 - 测量系统: 控制系统 IV. V556

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 127695 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 100048)

国防工业出版社印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 880 × 1230 1/32 印张 12 $\frac{1}{4}$ 字数 365 千字

2009 年 1 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—2500 册 定价 39.00 元

(本书如有印装错误, 我社负责调换)

国防书店: (010)68428422

发行邮购: (010)68414474

发行传真: (010)68411535

发行业务: (010)68472764

《航天测量船海上测控技术丛书》
编审委员会

主任委员 简仕龙

副主任委员 郭裕芳 张忠华

委 员 周朝猛 陈一兵 席震东 费加兵

程宇锋 朱伟康 姜 良 董 杰

赵文华

秘 书 徐一新 陈小进 张 伟

《航天测量船海上测控技术概论》

编 写 组

主 编 简仕龙

副主编 费加兵 刘 冰

编著者 (按姓氏笔画排序)

王玉祥 王志泉 丛 波 伍宗文

刘 冰 李晓勇 费加兵 顾纪祥

徐一新 傅敏辉 简仕龙 潘 良

序

在我国航天事业走过半个世纪、取得举世瞩目的巨大成就之际，我国的航天远洋测控事业也经历了 30 年的风风雨雨。

30 年来，从事航天远洋测控事业的广大科技人员，自力更生，严谨求实，开拓创新，团结奋斗，自行设计、研制建造了 6 艘“远望”号测量船，先后 50 多次远征太平洋、印度洋、大西洋，圆满完成了 60 余次各类航天器发射的海上测控任务，为我国航天事业的发展做出了重大贡献，成为我国航天测控网不可缺少的重要组成部分。

回顾 30 年来走过的建设与发展道路，我国航天远洋测控技术水平逐步提高，试验能力不断增强，在圆满完成各类航天器发射海上测控任务的同时，取得了一个又一个的跨越；几代工程技术人员投入毕生的精力与智慧，付出辛勤的劳动与汗水，积累了丰富的实践经验，建立了比较完善的航天远洋测控试验体系，并取得了丰硕的科技成果。为了系统、全面地总结航天远洋测控理论和实践成果，培养和造就年轻人才，巩固和推进航天远洋测控事业又好又快发展，值此 30 周年之际，编写一套《航天测量船海上测控技术丛书》，具有十分重要的意义。

这套丛书共 8 册，包括《航天测量船海上测控技术概论》、《航天测量船测控通信设备船摇稳定技术》、《航天测量船船姿船位测量技术》、《航天器轨道确定的单位矢量法》、《航天测量船船姿数据处理方法》、《航天测量船气象保障技术》、《航天测量船航海保障技术》和《航天测量船测控通信设备标校与校飞技术》。丛书系统、全面地介绍了航天测量船海上测控通信和航海气象保障的理论基础、相关技术和最

新成果,注重分析测量船完成航天远洋测控任务特有的技术体制、技术途径和技术环节,既概略介绍了一般基础理论和航天远洋测控全貌,又着重讨论了具有海上测控特色的技术内容,具有系统全面、侧重技术、体现特色、注重实用的特点。

丛书的使用对象是从事各类航天器测控包括海上测控事业的广大工程技术人员和科技管理人员。希望这套丛书能够对广大读者了解和掌握航天海上测控技术起到实际的指导作用,不断提高海上测控科研试验技术水平,促进航天远洋测控事业人才培养工作,为推进我国航天事业又好又快发展发挥有益的作用。

沈奇骏

二〇〇八年二月廿八日

前 言

航天测量船是在海上动态情况下完成各类航天器测控的测控站,测控通信设备安装密集,在对航天器跟踪测量和控制时,测控通信设备的天线基座随着船体一起运动。测量船要完成对航天器的目标捕获和跟踪、测量、控制,对目标进行定位,与一般的陆上测控站相比,除了具有一些共同的技术领域外,还具有一些独特的技术特点。

本书作为《航天测量船海上测控技术丛书》的概论篇,本着系统全面、体现特色、侧重技术和注重实用的原则,系统阐述了航天测量船海上测控全貌及有关的基础理论和技术,着重分析了海上测控特有的技术特点,介绍了海上测控任务的组织管理和人才培养。

全书共分 11 章,第 1 章由航天测控引入了航天测量船,介绍了“远望”号测量船队的发展,介绍了航天器轨道和姿态的基本知识;第 2 章介绍了“远望”号航天测量船的总体性能和常规系统组成,分析了航天测量船特装系统的技术特点;第 3 章以脉冲雷达、遥测系统和统一测控系统为例,介绍了航天测量船无线电测量控制设备的基本原理;第 4 章从船姿船位测量原理入手,分析了船姿船位测量的技术途径和基本方法,并介绍惯性导航技术、船体变形测量技术和光电经纬仪用于航向校准的方法;第 5 章在分析测控信息交换的特性后介绍了测控数据的交换和实时处理技术,重点说明了测控网络结构、实时同步处理技术和实时应用软件技术;第 6 章介绍了航天测量船试验通信的组成、工作原理和技术特点;第 7 章研究了航天测量船跟踪航天器的测量工况设计等有关技术问题,并介绍了海上测控主要技术环节;第 8 章、第 9 章分别介绍了航天测量船外测和遥测数据处理方法;第

10章、第11章分别介绍了海上测控的组织管理和人才培养工作;附录介绍了测量船常用坐标系。

姜希望、江文达同志对全书进行了认真细致的审阅,提出了许多宝贵的修改意见,在此向两位专家表示衷心的感谢。本书在编写过程中得到了有关领导和专家的大力支持与帮助,江文达、李宇波等同志还为本书的编写提供了部分相关资料,在此一并表示感谢。

本书涉及专业面广,由于水平有限,难免有错误或疏漏之处,诚请读者予以指正。

编著者

2008年2月

内 容 简 介

本书简要地回顾了我国“远望”号航天远洋测量船队的建设和发展历程,以新一代航天测量船为背景,介绍了航天测量船执行各类航天器海上测控任务的有关技术。

本书从航天测控和航天测量船入手,分析了“远望”号测量船的总体性能和主要技术特点,简要介绍了船载无线电测量控制设备和试验通信的有关技术,讨论了船姿船位测量技术和测量船测控数据交换与处理,分析了测量船完成各类航天器海上测控任务的测量工况设计方法,介绍了测量船外测、遥测数据的处理方法,介绍了航天测量船海上测控任务的组织管理和人才培养。

本书可以作为航天测控工程技术人员和科技管理人员的教材,也可以供航天领域其他相关专业技术人员参考。

目 录

| | |
|-----------------------------|----|
| 第1章 绪论 | 1 |
| 1.1 引言 | 1 |
| 1.2 导弹航天系统工程 | 3 |
| 1.2.1 弹道导弹试验工程 | 3 |
| 1.2.2 航天系统工程 | 4 |
| 1.2.3 航天器的测控 | 5 |
| 1.3 航天测量船的发展 | 7 |
| 1.3.1 外国航天测量船 | 7 |
| 1.3.2 我国航天测量船 | 8 |
| 1.3.3 “远望”号测量船的作用和特点 | 9 |
| 1.4 航天器的飞行轨道与姿态 | 11 |
| 1.4.1 运载火箭飞行弹道 | 11 |
| 1.4.2 航天器轨道 | 12 |
| 1.4.3 航天器飞行姿态 | 19 |
| 第2章 “远望”号航天测量船 | 21 |
| 2.1 总体性能 | 21 |
| 2.1.1 总体性能分析 | 21 |
| 2.1.2 船舶总体性能 | 24 |
| 2.1.3 测控通信能力 | 25 |
| 2.2 常规系统 | 29 |
| 2.2.1 动力系统 | 29 |
| 2.2.2 航海系统 | 38 |
| 2.2.3 气象水文系统 | 44 |
| 2.2.4 常规通信 | 50 |

| | | |
|------------|-----------------|-----------|
| 2.3 | 特装系统 | 53 |
| 2.3.1 | 测控系统 | 53 |
| 2.3.2 | 试验通信系统 | 56 |
| 2.4 | 特装系统主要技术特点 | 63 |
| 2.4.1 | 测控通信设备的总体布局 | 63 |
| 2.4.2 | 跟踪测控设备的坐标统一 | 64 |
| 2.4.3 | 测控设备的综合建设 | 66 |
| 2.4.4 | 测控通信设备的船摇稳定 | 68 |
| 2.4.5 | 测量船电磁兼容 | 72 |
| 第3章 | 无线电测量与控制 | 78 |
| 3.1 | 脉冲雷达 | 79 |
| 3.1.1 | 脉冲雷达基本原理 | 79 |
| 3.1.2 | 天馈分系统 | 80 |
| 3.1.3 | 伺服分系统 | 80 |
| 3.1.4 | 轴角编码器 | 81 |
| 3.1.5 | 发射分系统 | 81 |
| 3.1.6 | 接收机分系统 | 82 |
| 3.1.7 | 测距分系统 | 83 |
| 3.2 | 遥测系统 | 84 |
| 3.2.1 | 天伺服分系统 | 85 |
| 3.2.2 | 接收分系统 | 87 |
| 3.2.3 | 遥测终端 | 91 |
| 3.2.4 | 遥测记录系统 | 96 |
| 3.3 | 统一载波测控系统 | 100 |
| 3.3.1 | 基本原理 | 101 |
| 3.3.2 | 天馈分系统 | 102 |
| 3.3.3 | 测角 | 103 |
| 3.3.4 | 接收分系统 | 106 |
| 3.3.5 | 发射分系统 | 108 |
| 3.3.6 | 测距 | 109 |

| | | |
|------------|------------------------|------------|
| 3.3.7 | 测速 | 113 |
| 3.3.8 | 遥控 | 114 |
| 3.3.9 | 扩频测控技术 | 117 |
| 3.3.10 | 多功能数字基带技术 | 119 |
| 第4章 | 船姿船位测量 | 121 |
| 4.1 | 船姿船位测量原理 | 122 |
| 4.1.1 | 测量元素 | 122 |
| 4.1.2 | 船姿船位测量方法 | 125 |
| 4.1.3 | 船姿船位系统组成 | 127 |
| 4.2 | 惯性导航技术 | 129 |
| 4.2.1 | 基本原理 | 129 |
| 4.2.2 | 惯性导航系统组成 | 139 |
| 4.2.3 | 惯性导航误差分析 | 142 |
| 4.3 | 变形测量技术 | 145 |
| 4.3.1 | 基本原理 | 145 |
| 4.3.2 | 变形测量系统组成 | 150 |
| 4.3.3 | 变形测量误差分析 | 152 |
| 4.4 | 光电经纬仪标校技术 | 153 |
| 4.4.1 | 光电经纬仪组成 | 153 |
| 4.4.2 | 经纬仪测星校航向方法 | 154 |
| 4.4.3 | 测星校航向误差分析 | 161 |
| 第5章 | 测控数据交换与处理 | 164 |
| 5.1 | 测控信息交换 | 165 |
| 5.1.1 | 测控信息交换的特性 | 165 |
| 5.1.2 | 测控网络体系结构 | 168 |
| 5.1.3 | 测控网系统接口 | 171 |
| 5.2 | 中心计算机 | 172 |
| 5.2.1 | 中心计算机系统的性能分析 | 173 |
| 5.2.2 | 中心计算机系统结构 | 175 |
| 5.2.3 | 关键技术 | 184 |

| | | |
|------------|-----------------|------------|
| 5.3 | 实时应用软件 | 190 |
| 5.3.1 | 实时应用软件结构 | 191 |
| 5.3.2 | 实时数据处理任务 | 192 |
| 5.3.3 | 实时软件应用技术 | 199 |
| 5.3.4 | 仿真与测试 | 207 |
| 第6章 | 试验通信 | 210 |
| 6.1 | 岸船通信 | 210 |
| 6.1.1 | 数据交换 | 211 |
| 6.1.2 | 卫星通信 | 214 |
| 6.1.3 | 短波通信 | 222 |
| 6.2 | 天地通信 | 228 |
| 6.2.1 | 基本原理 | 228 |
| 6.2.2 | 信号衰减 | 232 |
| 6.2.3 | 关键技术 | 234 |
| 6.3 | 船内通信 | 234 |
| 6.3.1 | 船内综合信息传输平台 | 235 |
| 6.3.2 | 专业局域网 | 241 |
| 6.3.3 | 通信网络管理 | 243 |
| 6.4 | 时间统一 | 246 |
| 6.4.1 | 时间统一设备 | 247 |
| 6.4.2 | 岸船对时 | 248 |
| 6.4.3 | 时间和频率的传递 | 249 |
| 第7章 | 海上测控任务分析 | 253 |
| 7.1 | 目标跟踪分析 | 254 |
| 7.1.1 | 跟踪预报 | 254 |
| 7.1.2 | 目标姿态与天线方向性分析 | 264 |
| 7.1.3 | 天地链路分析 | 268 |
| 7.2 | 测量工况设计 | 270 |
| 7.2.1 | 测量工况设计的约束条件 | 271 |
| 7.2.2 | 测量工况设计方法 | 272 |

| | | |
|------------|-----------------------|------------|
| 7.2.3 | 测量工况自动化设计技术 | 276 |
| 7.3 | 海上测控技术环节 | 279 |
| 7.3.1 | 天地对接 | 279 |
| 7.3.2 | 任务演练 | 280 |
| 7.3.3 | 坞内标校 | 284 |
| 7.3.4 | 海上标校 | 288 |
| 7.3.5 | 海上校飞 | 293 |
| 第8章 | 外测数据处理方法 | 297 |
| 8.1 | 海上测量精度 | 297 |
| 8.1.1 | 船位误差 | 298 |
| 8.1.2 | 测量元素误差 | 298 |
| 8.1.3 | 误差合成 | 299 |
| 8.2 | 外测数据处理 | 301 |
| 8.2.1 | 数据检择 | 301 |
| 8.2.2 | 系统误差修正 | 302 |
| 8.2.3 | 船摇船体变形修正 | 304 |
| 8.2.4 | 大气折射修正 | 304 |
| 8.2.5 | 数据平滑 | 315 |
| 8.2.6 | 测速数据误差修正 | 325 |
| 8.2.7 | 船姿数据处理 | 331 |
| 8.3 | 弹道参数计算及其精度估计 | 332 |
| 8.3.1 | 弹道参数计算 | 332 |
| 8.3.2 | 位置参数精度估计 | 336 |
| 第9章 | 遥测数据处理方法 | 342 |
| 9.1 | 遥测数据处理的特点 | 342 |
| 9.1.1 | 遥测数据的分类 | 342 |
| 9.1.2 | 遥测数据帧的结构 | 343 |
| 9.1.3 | 遥测实时处理的特点 | 344 |
| 9.2 | 编码遥测数据处理 | 345 |
| 9.2.1 | 指令处理 | 345 |

| | | |
|---------------|---------------------------|------------|
| 9.2.2 | 工程参数处理 | 351 |
| 9.2.3 | 计算机字处理 | 356 |
| 9.3 | 模拟遥测数据处理 | 357 |
| 9.3.1 | 模拟遥测原理 | 357 |
| 9.3.2 | 卫星自旋周期计算 | 358 |
| 9.3.3 | 控制量计算 | 359 |
| 9.4 | 姿态确定 | 361 |
| 9.4.1 | 自旋卫星初始姿态计算 | 361 |
| 9.4.2 | 三轴稳定卫星初始姿态计算 | 362 |
| 第 10 章 | 海上测控组织管理 | 363 |
| 10.1 | 工作阶段 | 363 |
| 10.2 | 组织管理体系 | 365 |
| 10.2.1 | 预先准备阶段的组织管理 | 365 |
| 10.2.2 | 直接准备阶段的组织管理 | 365 |
| 10.2.3 | 测控实施阶段的组织管理 | 366 |
| 10.2.4 | 工作总结撤收阶段的组织指挥 | 366 |
| 10.3 | 海上测控联调、演练与实施 | 367 |
| 10.3.1 | 测量船内部联调与演练 | 367 |
| 10.3.2 | 测量船与飞行控制中心联调及测控系统联调 | 367 |
| 10.3.3 | 全系统综合演练 | 368 |
| 10.3.4 | 联调演练小结 | 368 |
| 10.3.5 | 测控实施 | 368 |
| 10.3.6 | 测控工作评价与总结 | 368 |
| 10.4 | 海上测控软件工程化管理 | 368 |
| 10.4.1 | 软件工程化管理基本要求 | 369 |
| 10.4.2 | 软件工作组织机构和职责分工 | 369 |
| 10.4.3 | 软件研制开发管理 | 370 |
| 10.4.4 | 软件维护管理 | 372 |
| 10.4.5 | 软件使用管理 | 373 |
| 10.5 | 海上测控质量管理 | 373 |

| | | |
|---------------|-------------------------|------------|
| 10.5.1 | 质量管理工作目标、原则及要求 | 374 |
| 10.5.2 | 质量管理责任体系 | 374 |
| 10.5.3 | 质量管理基本制度及执行程序 | 374 |
| 第 11 章 | 海上测控人才队伍建设 | 376 |
| 11.1 | 海上测控人才的内涵和基本形势 | 376 |
| 11.1.1 | 海上测控人才的内涵 | 376 |
| 11.1.2 | 海上测控人才队伍的基本形势 | 377 |
| 11.2 | 管理人才队伍建设 | 378 |
| 11.2.1 | 管理人才培养内容 | 379 |
| 11.2.2 | 管理人才培养途径和方法 | 380 |
| 11.2.3 | 管理人才的业绩考核 | 380 |
| 11.3 | 专业技术人才队伍建设 | 381 |
| 11.3.1 | 专业技术人才培养内容 | 381 |
| 11.3.2 | 专业技术人才培养途径 | 382 |
| 11.3.3 | 专业技术人才的考核 | 382 |
| 11.3.4 | 专业技术人才交流机制 | 383 |
| 11.4 | 技工人才队伍建设 | 383 |
| 11.4.1 | 技工人才素质要求 | 383 |
| 11.4.2 | 技工人才培养途径 | 384 |
| 附录 A | 常用坐标系定义 | 385 |
| | 参考文献 | 391 |