



航天测量船海上测控技术丛书

航天测量船 航海保障技术

主编 张志兵



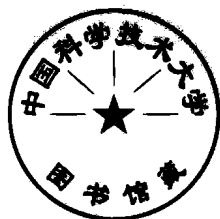
国防工业出版社

National Defense Industry Press

航天测量船海上测控技术丛书

航天测量船 航海保障技术

主编 张志兵



国防工业出版社

· 北京 ·

图书在版编目(CIP)数据

航天测量船航海保障技术/张志兵主编. —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 978-7-118-05948-9

I. 航... II. 张... III. 航天-测量船-航海保障 IV.
V556

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 140316 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 11 $\frac{1}{2}$ 字数 324 千字

2009 年 1 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—2500 册 定价 34.00 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

《航天测量船航海保障技术》 编写组

主 编 张志兵

副主编 王金林

主 审 郭裕芳

编著者 何爱民 史 开 倪留国 聂永来

蔡涵杰 王化伟 刘明月 李 庆

兰秀凯 徐孝力

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

航天测量船是活动的海上测控站,在浩瀚的大洋上对航天器进行跟踪、测量和控制。海上机动性好是测量船最大优点,为确保测量船安全航行和机动,遂行测控任务,航海保障工作十分重要。航天测量船航海保障技术包括海上航行安全保障和任务测量工况保障。

“远望”号测量船自投入使用以来,纵横驰骋三大洋,战风斗浪三十载,圆满完成了我国 60 余次航天发射的海上测控任务,总航程 60 余万海里,开辟了多条新航线,积累了丰富的航海经验;海上测量工况的保障,设计技术复杂,精度要求高,更是“远望”号测量船的特色与精华。《航天测量船航海保障技术》就是这些经验与技术的总结,是几代“远望”号测量船船长、航海驾驶人员集体智慧的结晶,实践性较强,适用于具有一定航海基础知识的航海工作者,也可供相关专业技术人员参考使用。

《航天测量船航海保障技术》是《航天测量船海上测控技术丛书》中的一部。全书共分为 7 章,其中第 1 章和第 2 章由王金林、何爱民、李庆编写;第 3 章由倪留国、蔡涵杰编写,第 4 章由兰秀凯和聂永来编写,第 5 章由徐孝力和刘明月编写,第 6 章由史开、王化伟编写;第 7 章由张志兵、王金林编写。全书由张志兵统稿。

本书在编写过程中,得到了中国卫星海上测控部刘继宗、周炜、孙青山等同志的大力支持,在此表示衷心感谢!

由于作者水平有限,书中难免有不足之处,敬请读者批评指正。

编著者

2008 年 4 月 5 日

目 录

第 1 章 概论	1
1.1 航天测量船概述	1
1.1.1 航天测量船队概况及作用	1
1.1.2 航天测量船航行特点	2
1.2 航海基础知识	3
1.2.1 地球形状和地理坐标	3
1.2.2 航向、方位和舷角	5
1.2.3 海上距离	7
1.2.4 船速和航程	8
1.2.5 航天测量船必备的航海图书	9
1.3 航海气象	10
1.3.1 概述	10
1.3.2 天气系统和天气过程	11
1.3.3 海上灾害性天气	16
1.4 大洋海流	26
1.4.1 太平洋的海流系统	26
1.4.2 大西洋的海流系统	27
1.4.3 印度洋的海流系统	28
1.4.4 中国近海及邻近海区的海流系统	30
参考文献	32
第 2 章 航海仪器	33
2.1 磁罗经	33
2.1.1 船用磁罗经的分类	33
2.1.2 船用磁罗经的基本结构	34

2.1.3	方位圈的结构及使用	35
2.1.4	磁罗经的检查与保管	37
2.1.5	磁罗经自差的校正	39
2.2	计程仪	43
2.2.1	电磁计程仪	43
2.2.2	多普勒计程仪	45
2.2.3	声相关计程仪	46
2.3	测深仪	47
2.3.1	概述	47
2.3.2	回声测深仪误差	50
2.4	陀螺罗经	51
2.4.1	陀螺罗经的种类及指北原理	51
2.4.2	位于地球上的自由陀螺仪的视运动	52
2.4.3	变自由陀螺仪为陀螺罗经的方法	53
2.4.4	陀螺罗经误差及其修正	56
2.5	船用导航雷达	60
2.5.1	雷达基本组成及各部分作用	60
2.5.2	雷达测距原理	63
2.5.3	雷达测向原理	63
2.5.4	ARPA 系统的组成及各部分作用	64
2.5.5	雷达的使用性能及其影响因素	66
2.5.6	导航雷达的航海性能	69
2.5.7	假回波及干扰杂波	74
2.6	船载自动识别系统	79
2.6.1	概述	79
2.6.2	AIS 的作用距离	80
2.6.3	AIS 的作用	81
2.7	电子海图显示与信息系统	83
2.7.1	电子海图及其分类	83
2.7.2	电子海图显示与信息系统	85

参考文献	89
第3章 定位与导航	90
3.1 航迹推算	90
3.1.1 航迹绘算	90
3.1.2 航迹绘算方法	92
3.1.3 风流压差的测定	99
3.1.4 航迹计算	103
3.2 陆标定位	109
3.2.1 航海上识别物标的常用方法	109
3.2.2 方位定位	111
3.2.3 距离定位	119
3.2.4 方位距离定位	125
3.2.5 移线定位	126
3.2.6 单一位置线的应用	134
3.3 测天定位	135
3.3.1 太阳移线定位	135
3.3.2 太阳特大高度定位	142
3.3.3 白昼“同时”观测太阳、金星定位	146
3.3.4 晨昏测星定位	146
3.4 GPS 定位	152
3.4.1 全球定位系统的组成	152
3.4.2 GPS 卫星导航定位原理	153
参考文献	156
第4章 值班与避碰	157
4.1 避碰基础	157
4.1.1 号灯和号型	157
4.1.2 能见度不良时船舶使用的声号	158
4.1.3 瞭望	160
4.1.4 安全航速	164
4.1.5 判断碰撞危险	166

4.2 避碰行动	173
4.2.1 采取避让行动的要求	174
4.2.2 追越	178
4.2.3 对遇局面	181
4.2.4 交叉相遇局面	182
4.2.5 直航船的避让行动	184
4.2.6 船舶之间的责任	186
4.2.7 船舶在能见度不良时的行动规则	188
4.2.8 狭水道和分道通航制中的行动规则	193
4.2.9 避碰责任	198
4.3 航行值班	200
4.3.1 航海日志	200
4.3.2 驾驶员职责	202
4.3.3 交接班制度	204
4.3.4 驾驶、轮机联系制度	205
4.3.5 特殊环境下的航行值班	207
参考文献	208
第5章 船舶操纵	209
5.1 船舶操纵性能	211
5.1.1 船舶操纵性	211
5.1.2 船舶定常旋回性	213
5.1.3 船舶操纵性指数	222
5.1.4 船舶改向性	227
5.1.5 船舶保向性	230
5.1.6 实船操纵性试验	234
5.2 锚泊操纵	242
5.2.1 锚泊方式及其选择	242
5.2.2 锚泊偏荡、走锚及其防止	250
5.3 系离泊操纵	254
5.3.1 靠码头操纵	255

5.3.2 离码头操纵	265
5.4 大风浪中的船舶操纵	273
5.4.1 大风浪中操船	273
5.4.2 大风浪中操船措施	276
5.4.3 遭遇台风时的操船	282
5.5 特殊水域操船	284
5.5.1 狭水道操船	284
5.5.2 内河(运河)中操船	290
5.6 船舶应急操纵和处置	294
5.6.1 碰撞前后的操船与处置	294
5.6.2 搁浅与触礁前后的操船与处置	297
参考文献	305
第6章 航线设计	306
6.1 航线设计的原则与内容	306
6.1.1 航线设计的原则	306
6.1.2 航线设计的内容	306
6.2 影响航线设计的各种因素	307
6.2.1 影响航线设计的本船条件	307
6.2.2 影响航线设计的气象、水文条件	309
6.2.3 影响航线设计的障碍物和海图水深	311
6.2.4 当局公布的8种受限制区域	315
6.2.5 国际公约规定的9种受限制区域	318
6.3 航线设计	324
6.3.1 确定合适的航线离岸距离	324
6.3.2 转向点位置的设定	325
6.3.3 航线的绘制方法及标注	328
6.3.4 航天测量船《航行计划》自动生成	332
参考文献	334
第7章 海上测控航海保障	335
7.1 海上测控特点	335

7.2	海上测量基本方法	336
7.3	航海保障任务	337
7.4	海域调查	338
7.5	测量工况设计	340
7.5.1	测量船位设计	340
7.5.2	测量航向设计	342
7.5.3	测量航速设计	342
7.5.4	测量航线设计	343
7.6	航海保障方案的实施	345
	参考文献	347

第 1 章 概 论

1.1 航天测量船概述

1.1.1 航天测量船队概况及作用

20 世纪 60 年代,随着卫星、导弹、飞船及微电子技术的飞速发展,仅在本国领土范围内已无法满足各种型号飞行器全程飞行试验的要求,美国、苏联在各类飞行器的全程飞行试验中都充分利用了约占地球总面积 70% 的海洋。美、苏两国几乎同时开辟了海洋试验靶场。

随着我国运载火箭和卫星技术的成熟与发展,在 1965 年,周恩来总理主持中央专委会会议研究了建立远洋航天测量船的问题。后来经过国防科工委组织有关科技人员的反复论证,制定了我国研制“远望”号航天测量船的计划。从 1967 年到 1979 年,历经 13 个春秋,终于成功研制了我国第一代“远望”号航天测量船。

目前我国的“远望”号航天测量船已经发展到第三代,第一代是 1979 年前后相继下水的“远望”一号、“远望”二号航天测量船,满载排水量约为 2.1 万 t,第二代是 1995 年下水的“远望”三号航天测量船,满载排水量约为 1.8 万 t,第三代是 2008 年前后相继下水的“远望”五号、“远望”六号航天测量船,满载排水量约为 2.5 万 t。期间,为了适应我国首期载人航天工程的需要,1998 年 8 月还购置了国家海洋局“向阳红”十号,并将其改造为遥测船(后又将其改造为测控船),并更名为“远望”四号航天测量船。图 1-1 为第三代“远望”号航天测量船的外观图。

根据国内外航天测量船的使用情况,其作用可以简要归纳如下:

(1) 陆基远程导弹和潜地导弹试验时,对中段特别是再入弹道进行跟踪测量,获取弹道、遥测及目标辐射特性数据,测量弹头的落点。

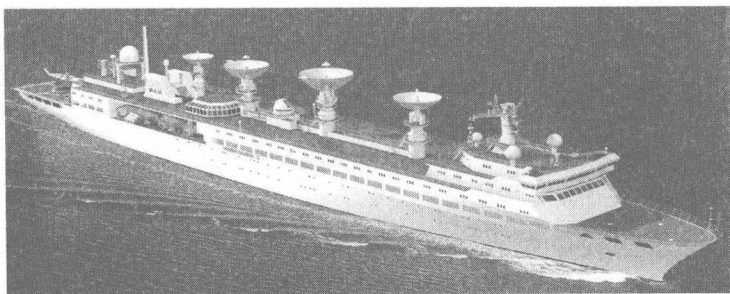


图 1-1 第三代“远望”号航天测量船的外观图

(2) 发射卫星时,跟踪测量三级运载火箭,确定卫星的轨道,监视和控制卫星内部设备工作和卫星变轨。

(3) 发射载人航天器时,除跟踪测量末级运载火箭外,对航天器入轨、变轨及轨道维持、轨道机动、交会对接及返回再入等一些关键段落提供测控支持,增加测控通信覆盖率,从而对海上降落的航天器及海上应急救援提供测控支持。

1.1.2 航天测量船航行特点

航天测量船集造船、机械、微电子、现代通信、计算机、光学等领域的先进技术于一体,被称为“海上科学城”。其中,航海系统主要由船舶定位系统、组合导航系统、气象观测与预报系统、救生和甲板机械设备等组成。航天测量船航海系统的任务是保障船舶的航行安全,在测量任务的实施过程中,保证测量船按照任务要求的工况航行。航天测量船航行特点主要有以下四点。

(1) 不同于远洋运输船。远洋运输船追求的是经济效益,时间计划性强。只要船舶安全,就不考虑海况对船舶摇摆、升沉和振动的影响。而航天测量船的使命是完成海上测控任务,因此测控设备在出航前经过了坞内标校、动态校飞、精度校飞和多次联调,以确保都处于最佳技术状态,而大风浪中船舶摇摆、振动、变形都会引起测控设备误差的变大或引起接口插件的故障。因此除考虑船舶的安全外,还要考虑到测控设备的安全,即船舶纵摇、横摇、升沉、振动要小。

(2) 不同于出访的舰艇。舰艇出访到达的都是重要港口,有国际推荐航线可供使用。航天测量船的测量海域远离国际推荐航线,有许多海域的航线需要自行设计。

(3) 不同于极地海洋考察船。极地考察船虽然航行海区恶劣,但可以通过出航时机、航线的选择避开或一次性穿越恶劣海区。航天测量船测量海区是由飞船测控任务决定的,且都处于中纬度地区,在海区作业时间短则7天,长则半月以上,因此遭遇恶劣海况是必然的。

(4) 不同于一般的海上作业平台。海上作业平台位于沿海浅水区、航线近。航天测量船航程远,途经复杂、敏感海区多,航行难度大。

1.2 航海基础知识

船舶在一望无际的茫茫大海上航行,为完成船舶海上的运输任务,保证船舶航行安全,驾驶员应根据航行的海图,掌握船舶所处的坐标、行驶的航向、已航行的航程、计划到达目的港的时间等。这些都是航海的基础知识,因此航运管理人员必须了解和掌握。

1.2.1 地球形状和地理坐标

航海离不开对地球的认识。人类认识大地的形状,经历了漫长的岁月和艰难的历程。公元前6世纪已经认识到大地是球形的;17世纪采用精密三角测量的弧度测量法,建立了地球椭球理论;18世纪,建立了物理大地测量学,使得大地测量建立在近代科学的基础上,弧度测量越来越精确;20世纪,随着人造地球卫星发射成功,空间远程技术的进步,建立了现代空间大地测量学,大地测量越来越精确,对地球的认识越来越深刻;21世纪,大地测量向数字地球的方向发展。

下面从航海的角度来研究地球形状、地理坐标系与大地坐标系。

1.2.1.1 地球形状

地球自然表面有高山峡谷、平原、江河湖泊和海洋,是一个高低不平、非常复杂的不规则曲面,但这些局部起伏量与地球半径($R \approx 6370\text{km}$)相比却是微不足道的。如果用占地球表面约71%的水域表面按一定的条