



舰船信息融合 与目标运动分析

董志荣 著



国防工业出版社
National Defence Industry Press

国家科学技术学术著作出版基金

舰船信息融合 与目标运动分析

董志荣 著



国防工业出版社

· 北京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

舰船信息融合与目标运动分析/董志荣著. —北京:
国防工业出版社, 2016. 6

ISBN 978 - 7 - 118 - 10895 - 8

I. ①舰… II. ①董… III. ①军用船—信息融合—
研究 ②军用船—自动化系统—算法分析 IV. ①G202
②TP273

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 134726 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)

北京京华虎彩印刷有限公司印刷

新华书店经售

*

开本 710 × 1000 1/16 印张 19 1/4 字数 355 千字

2016 年 6 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—1500 册 定价 99.00 元

(本书如有印装错误, 我社负责调换)

国防书店: (010) 88540777

发行邮购: (010) 88540776

发行传真: (010) 88540755

发行业务: (010) 88540717

信息融合与目标运动分析,有了半个多世纪的历史,特别在 20 世纪 90 年代之后,国内外研究都有了飞速的发展。非但有了名目繁多的包括信息融合与目标运动分析的大量军事理论与装备,还有了信息融合这个特别专题的国际与国内的学术组织。作者以其深厚的数学功底和宽广的指挥与控制(以下简称“指控”)工程实践,在这个领域做了大量的研究工作,对于许多工程难题,进行了深入的数理分析,建立了比较系统完整的数学或工程方法,取得了许多重要的研究成果。

作者早于 1978 年就对多目标密集环境下航迹处理的集合论描述法进行了研究和发展。在 20 世纪 90 年代里,不断跟踪并研究数据互联、数据融合直至信息融合的过程中,建立了它与联合概率数据互联、人工神经网络的综合分析方法,在数学上证明了:在量测同时、目标同域和目标同维、完全通信(同步、无误码、不破损)的条件下,集中式融合比一般分布式融合体系结构“好”的原则。这个信息融合体系结构优化命题,为海、陆、空指挥控制系统的研制提供了体系结构优化的明确方向;作者将集合论描述方法推广到信息融合之中,据此分别建立了潜艇指控系统、水面舰艇及其编队指控系统、岸基指挥自动化系统、火控系统的信息融合原理与算法,这些原理与算法从确定性问题入手,理论严谨、条理清晰,很直观,考虑因素全面,站在作战系统的高度,以非常直觉的思想方法,深入揭示并描述了其工程本质。作者对目标运动分析,在给出噪音测向声呐目标运动分析理论结果的同时,不拘泥于声呐单站方位测向目标运动分析的限制,而是走向作用范围更宽广的舷侧阵、拖曳线列阵以及直升机吊放声呐、声呐浮标的目标运动分析,建立了目标运动分析新的应用理论,开辟了指控系统声呐系统综合分析的新领域,给潜艇、水面舰艇和直升机的

水下监视、探测、防御、攻击提供了早发现、早处理,功能与性能更强的指挥控制系统。

我认为作者的研究途径与方法上的特点在于:深入研究战术要求,紧密结合工程实际,运用现代数学的有力工具,进行反复论证,进行严密、大量、烦琐的数学推导和计算以及必要的仿真。作者在自己的著作中给出的许多引理、定理、命题以及问题的完美解析解,都是机理研究中的结晶。这些成果在数学教科书中是很难找到的;在追求理论系统完整的同时特别致力于理论与实用的统一,理论做到既先进,又能够实现,理论联系实际,达到“能用”、“管用”的最基本的要求。

本书虽以舰船为对象,但其原理与方法对于陆用和空用指控系统无疑是普遍适用的,具有重要的指导价值。

中国工程院院士 

2015. 12. 9

信息融合与目标运动分析同根、同源,是相互联系、相互依存的,其研究领域既有交叉又有不同。它们的研究背景、对象、目的、原理与方法、应用范围相近而又有很大的区别。目标运动分析是功能,包括求目标运动参数、目标定位与跟踪、目标动向分析等在内的更为广义的概念。当能够准确求出时,常称为求目标运动参数、目标定位与跟踪;当不能准确求出或根本求不出时,常称为目标运动分析。信息融合是手段、是方法,无论信息融合是像素级、特征级还是决策级,其目的之一都需要目标运动分析。本书论述的舰船信息融合是指多源的单多目标运动分析的信息融合。

本书集著者之研究成果,分立为两篇:第1篇为信息融合;第2篇为目标运动分析。

(一) 信息融合

本书第1篇信息融合,始于著者1978年的多目标密集环境下航迹处理研究。在20世纪80年代,著者建立的以集合论描述法为主体的一些研究结果已载入文献[1-4]中,在指挥与控制(简称“指控”)系统研制中,已得到成功的运用。20世纪90年代,著者在不断跟踪并研究数据互联、数据融合直至信息融合的过程中,整理了国内外有应用价值的研究成果^[5,6],发展了集合论描述法($P_D < 1$ 的情况),建立了它与概率数据互联、人工神经网络的综合方法^[7],给出了信息融合体系结构优化命题的证明^[8],将集合论描述方法推广到信息融合之中^[9],以此分别建立了潜艇指控系统、水面舰艇及其编队指控系统、岸基指挥自动化系统、火控系统的信息融合原理与算法^[10-13]。这些原理与算法,理论较为严谨,以数学为工具解决实际问题,站在系统的高度,以直觉的思想方法,深入揭示并描述其工程本质,因而非常实用。本篇是著者在信息融合研究方面的一个理论总结。

信息融合是极易被社会各界接受的术语。它与组合、合成、结合、综合、集成

有发展程度的不同。在军事技术领域里,信息融合是火控系统、指控系统、指挥自动化系统、C³I 系统、C⁴ISR 系统最本质的综合,将最大限度地减少与传感器、武器控制(制导、导引)之间的重复环节,克服各传感器分立量测、指控系统分立处理造成的不能很快、不能很准确自动辨识目标的缺陷,使整个系统更加一体化,会大大地缩短其系统的反应时间,并大大提高系统精度。

第 1 篇共 8 章。第 1 章概论,介绍了信息融合的概念、应用对象、研究内容、体系结构、典型职能框图与基本问题、术语及其定义、原理基础与方法要览、存在问题与未来研究课题以及舰船信息融合发展概要。第 2 章信息融合数学原理,是本书重点之一,介绍了航迹起始方法,航迹融合、量测融合、航迹-量测融合以及信息融合体系结构优化的数学原理。第 3 章信息融合集合论描述基础方法,是本书重点之一,重点介绍集合论描述法的要义,而不着重介绍它的形式化细节。该方法是一种通用方法,适用于主动/被动、二维/三维、光/声/电/磁传感器、船/机/车/地/天载体中的信息融合系统。第 4 章介绍纯方位多站多目标信息融合集合论描述法,重点介绍了纯方位多站多目标信息融合基本问题、解决途径、集合论描述法的构造及应用问题。第 5 章至第 7 章应用上述原理与方法,分别介绍了潜艇指控系统、水面舰艇及其编队指控系统、岸基指挥自动化系统和火控系统的信息融合原理与算法。它们是本书重要组成部分,是构成上述系统的总体方案、数学方案最核心的部分,为上述系统的应用软件编制提供了数学模型。第 8 章介绍了信息融合进一步的发展问题。信息融合为传感器、指挥控制、武器及其运用、战术等专业在更高层次上的发展提供了宽广的视野。本章讨论了发展的指导思想,并从理论与应用方面提出了信息融合的发展前景。

(二) 目标运动分析

自从 1995 年《舰艇指控系统的理论基础》^[4]一书出版以来,该领域的理论与实践又取得了突飞猛进的发展,表现在指控系统理论体系新探索以及信息融合、指挥决策、机动目标跟踪、目标运动分析、射击(导引)诸元求解各分支的发展。近 20 年来,著者在该领域继续研究、探索,通过技术引进和国军标 GJB 4000—2000《舰船通用规范》^[14]编制(1993—1999 年),并通过培养硕士研究生、博士研究生以及对信息融合原理与算法、智能指控系统原理、隐蔽攻击、指控理论发展评论、目标运动分析的专题研究,着眼于国外舰艇指控系统发展的总趋势,以国内重大型号背景为依托,总结、整理了近 20 年的技术成果。其中的第一

部分《指控系统人工神经网络原理》(第一版 1999 年,第二版 2005 年)已经成册内部使用;第二部分《信息融合原理与算法》(第一版 2001 年,第二版 2005 年)已经成册内部使用;2005 年,集隐蔽攻击、目标定位与跟踪、新型声呐站数据处理等方面的研究,作为第三部分,当时定名为《目标运动分析新论》,于 2002 年 2 月动笔,完成了概论与第 1 章部分内容,正式大规模整理于 2004 年 7 月开始,历时 8 个多月,于 2005 年 3 月 4 日完稿,交付内部使用。此后,直至 2014 年,结合以上研究成果不断进行的深化研究,这次也补充了进去,作为本书的第 2 篇公开出版。第 2 篇忠实记录着著者近 20 年来有关目标运动分析的思考、思想、原理、方法及其应用。

第 2 篇共 8 章。第 9 章概论,介绍了目标运动分析的概念、研究范围、研究方法和研究现状。第 10 章目标运动分析理论框架,建立了目标运动分析体系结构,给出了目标运动分析的方法。第 11 章综合声呐目标运动分析,评述了纯方位系统目标运动分析经典方法,对纯方位系统建立了不同变体的非线性最小二乘算法,给出了纯方位系统定位与跟踪的本载体最优轨线方程及其最优轨线,还给出了纯方位系统目标折线运动定位与跟踪原理以及悬停潜艇目标定位与跟踪原理,最后,提出了模型识别-滤波-控制原理。第 12 章舷侧声呐目标运动分析,建立了舷侧阵声呐的目标运动分析方法。第 13 章拖曳线列阵声呐目标运动分析,建立了质心拖曳线列阵与形体拖曳线列阵单、多目标运动分析方法。第 14 章声呐浮标目标运动分析,介绍了各类反潜声呐探测目标能力,研究了被动、主动声呐浮标的目标运动分析方法。第 15 章潜艇目标运动分析综合及发展综合评论,提出了综合原则、途径与关键技术,以及目标运动分析发展的综合评论、研究趋向、发展前景。第 16 章水面舰艇立体反潜系统目标运动分析的综合,介绍了固定翼飞机反潜、直升机反潜、舰载反潜一般情况,着重提出了上述反潜设施构成立体反潜系统的构想,给出了它们的目标运动分析信息融合综合方法。

信息融合与目标运动分析仍在迅速的发展之中,社会与军事的强大需求,是其迅速发展的原动力。本书信息融合篇特别致力于理论与实用的统一;而目标运动分析篇,则跳出以往与现在国内、外研究较多的单站(噪音测向声呐)纯方位目标运动分析的圈圈,走向视野更宽、作用范围更远的舷侧阵、拖曳线列阵以及直升机吊放声呐、声呐浮标的目标运动分析,转而走向指控系统与声呐系统相综合的新路,这是一条十分宽广的技术道路,将会给潜艇、水面舰艇和直升机的

水下监视、探测、防御、攻击提供功能与性能更强大的指挥与控制系统。

非常庆幸,1995年之后近20年的时间里,著者有一段如此平静、自由、宽松的科研环境,做些自己愿意做、社会与国家也需要做的事,集大部分精力从事人们不太重视的应用理论研究,在大量搜集、浏览、消化、分析情报资料的基础上,继续潜心探索着舰艇指控系统的理论与应用。在两个专题研究之中,得到了中国船舶重工集团公司江苏自动化研究所历届领导特别是党委书记兼所长王泽信研究员、所长汪汉民、所长卢田金研究员、党委书记顾良圭研究员的大力支持,以及广大技术人员热情参与,研究中参考了国内、外同行专家的研究成果,受到了不少启示,在此,谨向他(她)们一并表示感谢。

我也愿借此机会以1995年前后各20年研究并出版的《舰艇指控系统的理论基础》和《舰船信息融合与目标运动分析》两部基金资助出版的专著,奉献给伟大祖国的舰船事业,以了却我终生的科研生活。

最后,我愿感谢国家科学技术学术著作出版基金委员会给予的基金资助;感谢国防工业出版社为本书出版提供了难逢的好机会;感谢国防工业出版社领导、唐应恒主任、肖志力编审、牛旭东编辑,由于他(她)们领导、指导和认真的工作,保证了本书高质量的出版;真诚感谢原中国舰船研究院院长、我当年的直接领导陆建勋院士在百忙中为本书作序;真诚感谢吴有生院士和王振宇研究员对书稿提出修改建议;真诚感谢中国工程院院士何友教授、柳克俊少将、教授和王振宇研究员对本书出版基金申报的热情推荐;感谢研究员李洪瑞博士、研究员苗艳硕士对少量文字修改给予的帮助;还要感谢我的家人张兰秀、董梅和董飞为本书研究与出版所付出的辛勤劳动。

我自知知识浅薄,肯定会是挂一漏万,敬请大家不吝指正。

著者

2016年4月

绪论	001
0.1 概述	001
0.2 信息融合与目标运动分析的联系与区别	001
0.3 关于决策级信息融合问题	003
0.4 信息融合与指挥决策关系	004

第1篇 信息融合

第1章 概论	005
1.1 信息融合的概念	006
1.1.1 几种说法	006
1.1.2 说法分析	006
1.2 应用对象、研究内容、体系结构、典型职能框图与基本问题	007
1.2.1 应用对象	007
1.2.2 研究内容	007
1.2.3 体系结构	007
1.2.4 典型职能框图	009
1.2.5 基本问题	009
1.3 基本术语及其定义	009
1.4 原理基础与方法要览	010
1.5 存在问题与未来研究课题	012
1.5.1 传感器发展的滞后问题	012
1.5.2 传感器与 C ³ I 系统综合问题	012
1.5.3 统一理论建立问题	012
1.6 舰船信息融合发展概要	012
1.6.1 舰船信息源	012
1.6.2 舰船信息融合发展的历程	013

1.6.3	舰船信息融合研究对象与内容	013
1.6.4	舰船信息融合研究的真正难点	013
1.6.5	舰船信息融合研究的思维方式和方法	014
1.6.6	关于书中所用理论、原理、方法、算法诸术语的诠释	014
第2章	信息融合数学原理	015
2.1	航迹起始方法	015
2.1.1	概述	015
2.1.2	航迹起始实用方法	016
2.1.3	其他航迹起始方法及有关问题讨论	019
2.2	航迹-航迹融合数学原理	022
2.2.1	问题的提出和描述	022
2.2.2	航迹与航迹最优融合的主要研究结果	025
2.2.3	判别两估计状态是否是同一目标的假设检验	027
2.3	量测融合的概念及主要研究结果	028
2.3.1	问题的提出和描述	028
2.3.2	先量测融合后航迹估计	029
2.3.3	量测直接参与航迹融合	030
2.4	信息融合体系结构优化数学原理	030
2.4.1	航迹融合与不融合体系结构的性能比较	030
2.4.2	量测融合与不融合、航迹-量测融合与不融合 性能比较	032
2.4.3	集中式与一般分布式融合体系结构性能比较	033
2.5	小结	034
第3章	信息融合集合论描述基础方法	035
3.1	问题的提出	035
3.2	信息融合体系结构	036
3.2.1	体系结构选择	036
3.2.2	信息融合基本前提条件和融合原则	036
3.3	航迹融合准则和原理	036
3.3.1	融合准则	036
3.3.2	融合原理	037
3.4	航迹-航迹融合算法步骤	037
3.5	算法的逻辑描述——原理职能框图	040
3.6	融合算法几点评注	042

3.6.1	融合算法前提条件	042
3.6.2	各站量测参与融合问题	042
3.6.3	融合算法主要特征	042
第4章	纯方位多站多目标信息融合集合论描述法	043
4.1	概述	043
4.1.1	多站多目标信息融合理论体系	043
4.1.2	纯方位多站多目标信息融合研究状况	044
4.2	纯方位多站多目标信息融合研究基本问题与解决途径	045
4.3	提出问题	046
4.4	纯方位多站多目标信息融合集合论描述法的构造	048
4.4.1	基本概念	048
4.4.2	方位波门的建立	048
4.4.3	方位量测相关准则及简化	049
4.4.4	量测元相关分析	049
4.4.5	形成点迹之后的数据互联	053
4.4.6	纯方位多站多目标信息融合中的纯方位单站多目标 数据互联	054
4.4.7	算法步骤	054
4.4.8	算法的逻辑描述——原理职能框图	056
4.5	纯方位多站多目标信息融合集合论描述法应用问题	057
4.5.1	对不规则目标探测区的应用	057
4.5.2	关于原理与算法简化	057
4.5.3	关键参数选择	057
4.6	算法主要特征	058
4.7	算法评价	058
第5章	潜艇指控系统信息融合原理与算法	060
5.1	体系结构	060
5.1.1	传感器及量测特征	060
5.1.2	信息融合的基本前提条件	061
5.1.3	分级融合的传感器分组及融合原则	061
5.1.4	潜艇信息融合的体系结构	062
5.2	被动测距声呐多目标航迹处理	063
5.2.1	噪声测距声呐的发展	063
5.2.2	被动测距声呐多目标航迹处理集合论描述法	065

5.2.3	被动测距声呐与搜索雷达的多目标密集环境下航迹处理的集合论描述法不同点	065
5.3	多基阵单目标信息融合	067
5.3.1	问题提出	067
5.3.2	MTMA 模型	068
5.3.3	量测	070
5.3.4	非机动源情况的系统可观察性	071
5.3.5	机动源情况	075
5.4	潜艇多传感器信息融合算法	078
5.4.1	航迹与航迹融合算法	079
5.4.2	方位组成的航迹与角度序列融合算法	082
5.4.3	方位组成的航迹与方位-频率序列融合	083
5.4.4	方位-频率组成的航迹与方位序列融合	083
5.4.5	方位-频率组成的航迹与方位-频率序列融合	083
第6章	水面舰艇及其编队指控系统信息融合原理与算法	085
6.1	体系结构	085
6.1.1	传感器及量测特征	085
6.1.2	信息融合的基本前提条件	086
6.1.3	分级融合的传感器分组及融合原则	086
6.1.4	单舰信息融合体系结构	087
6.1.5	舰艇编队信息融合系统体系结构	089
6.2	单站多目标数据互联方法	091
6.3	水面舰艇单舰多站多目标信息融合算法	093
6.3.1	航迹与航迹融合算法	094
6.3.2	角度组成的航迹与角度序列融合算法	094
6.3.3	方位-频率组成的航迹与方位-频率序列融合	096
6.4	舰艇编队信息融合算法	097
6.4.1	编队信息融合准则	097
6.4.2	航迹融合检验	098
6.4.3	融合航迹计算	099
第7章	岸基指挥自动化系统、火控系统信息融合原理与算法	100
7.1	岸基指挥自动化系统信息融合原理与算法	100
7.1.1	概述	100
7.1.2	岸基信息融合系统体系结构与融合基本原理	101

7.1.3	信息融合准则	103
7.1.4	信息融合算法步骤	103
7.1.5	算法的逻辑描述——原理职能框图	103
7.1.6	融合算法几点评注	104
7.2	火控系统信息融合原理与算法	104
7.2.1	问题提出和描述	104
7.2.2	信息融合体系结构与原理	104
7.2.3	信息融合算法	105
7.2.4	火控系统信息融合几点评注	106
第8章	信息融合进一步的发展问题	107
8.1	研究与应用中的几个问题	107
8.1.1	概念与范围问题	107
8.1.2	层次与体系结构问题	109
8.1.3	应用问题	110
8.2	发展指导思想	111
8.3	发展展望	112

第2篇 目标运动分析

第9章	概论	114
9.1	目标运动分析概念	114
9.2	目标运动分析研究范围	114
9.3	目标运动分析研究方法	117
9.4	目标运动分析研究现状	119
第10章	目标运动分析理论框架	120
10.1	目标运动分析体系结构	120
10.1.1	被动测距声呐目标运动分析体系结构(最内层)	121
10.1.2	综合声呐目标运动分析体系结构(内层)	121
10.1.3	舷侧阵声呐目标运动分析体系结构(中层)	122
10.1.4	线列阵声呐目标运动分析体系结构(外层)	124
10.2	目标运动分析方法	126

第 11 章	综合声呐目标运动分析	128
11.1	综合声呐目标运动分析经典方法	128
11.1.1	确定性参数计算方法	128
11.1.2	线性最小二乘法	131
11.1.3	未能正确使用最小二乘法数学模型的几个案例分析	133
11.1.4	推广的维纳滤波 - 变参数线性系统平滑原理	138
11.1.5	卡尔曼滤波和非线性滤波应用理论	140
11.1.6	识别 - 滤波 - 控制 (IFC) 原理	142
11.1.7	人工神经网络 (AN ²) 原理应用	142
11.2	非线性最小二乘法	144
11.2.1	非线性最小二乘法应用于纯方位系统目标运动分析 综合评述	144
11.2.2	一般非线性最小二乘法	145
11.2.3	非线性最小二乘纯方位目标运动分析数学模型	147
11.2.4	结论	150
11.2.5	纯方位目标运动分析线性化后的最小二乘法	151
11.2.6	非线性最小二乘应用结论	155
11.3	纯方位系统定位与跟踪的本载体最优轨线方程及其最优轨线	156
11.3.1	最优机动思想与原则	157
11.3.2	最优轨线方程	158
11.3.3	最优轨线计算方法	162
11.3.4	最优轨线计算结果	163
11.3.5	最优轨线性质	169
11.3.6	最优轨线定理	169
11.3.7	最优与次优轨线方程汇总 (表 11.5)	169
11.3.8	一个实例	170
11.3.9	工程简化应用	172
11.3.10	结论	173
附录 A		173
11.4	纯方位系统目标折线运动定位与跟踪原理	174
11.4.1	问题描述	175
11.4.2	主要结果	176
11.4.3	结论	182
11.5	悬停潜艇目标定位与跟踪原理	182
11.5.1	潜艇悬停概述	182

11.5.2	与悬停攻击相关的潜艇隐蔽攻击主要理论	183
11.5.3	悬停潜艇目标定位与跟踪方法	185
11.5.4	结论	190
11.6	模型识别-滤波-控制(MIFC)原理	191
11.6.1	识别-滤波-控制原理及其发展综合评述	191
11.6.2	交互多模型(IMM)发展评述	192
11.6.3	机动目标跟踪新研究评述	194
11.6.4	模型最优识别原理	194
11.6.5	模型最优控制原理	197
11.6.6	模型识别-滤波-控制与识别-滤波-控制 原理比较	197
第 12 章	舷侧阵声呐目标运动分析	199
12.1	提出问题	199
12.2	被动测距声呐基本原理	200
12.2.1	三点等间隔线列阵目标定位原理	200
12.2.2	三点等间隔线列阵目标定位解存在唯一的充要条件	202
12.2.3	讨论	203
12.3	舷侧阵声呐目标运动分析(I)——位置估计线性最小二乘法	205
12.4	舷侧阵声呐目标运动分析(II)——速度估计	207
12.5	舷侧阵声呐目标运动分析(III)——位置速度联合估计的线性 最小二乘法	208
第 13 章	拖曳线列阵声呐目标运动分析	209
13.1	质心拖曳线列阵声呐目标运动分析	209
13.1.1	量测原理误差论证	210
13.1.2	质心线列阵单目标运动分析	211
13.1.3	质心线列阵多目标运动分析	213
13.2	形体拖曳线列阵目标运动分析	213
13.2.1	形体拖曳线列阵单目标运动分析(一) (含时延及变化率)	213
13.2.2	形体拖曳线列阵单目标运动分析(二) (含时延及变化率)——目标定位同时 跟踪的数学模型	221
13.2.3	形体拖曳线列阵单目标运动分析(三) (含时延及变化率)——基于时延和与	

差的线列阵目标定位数学模型	226
13.2.4 形体线列阵声呐多目标运动分析 (不含时延及变化率)	232
13.3 拖曳线列阵声呐左右舷模糊问题与其解决途径	239
13.3.1 左右舷模糊问题	239
13.3.2 解决左右舷模糊的途径	239
第 14 章 声呐浮标目标运动分析	241
14.1 反潜各类声呐探测目标能力	241
14.2 声呐浮标目标运动分析问题	241
14.3 被动声呐浮标固定目标运动分析	242
14.3.1 确定性参数计算方法(见图 14.2)	243
14.3.2 线性最小二乘法的应用	244
14.3.3 线性化后最小二乘法的应用	245
14.3.4 小结	246
14.4 被动声呐浮标匀速直线目标运动分析	246
14.4.1 确定性参数计算方法	247
14.4.2 线性最小二乘法	248
14.5 主动声呐浮标距离、方位联合量测固定目标运动分析	250
14.6 主动声呐浮标距离、方位联合量测匀速直线目标运动分析	253
14.7 主动声呐浮标纯距离量测目标运动分析	254
14.7.1 主动声呐浮标纯距离量测固定目标运动分析	254
14.7.2 主动声呐浮标纯距离量测匀速直线目标运动分析	256
14.8 小结	258
第 15 章 潜艇目标运动分析综合及发展综合评论	260
15.1 声呐系统发展概述	260
15.2 潜艇声呐系统与指控系统的综合原则、途径与关键技术	261
15.2.1 潜艇声呐系统与指控系统综合原则	261
15.2.2 潜艇声呐系统与指控系统综合途径	261
15.2.3 潜艇声呐系统与指控系统综合关键技术	262
15.3 潜艇 TMA 发展综合评论	263
15.3.1 TMA 研究学术贡献与团队分析	263
15.3.2 TMA 研究趋向和发展远景	267