

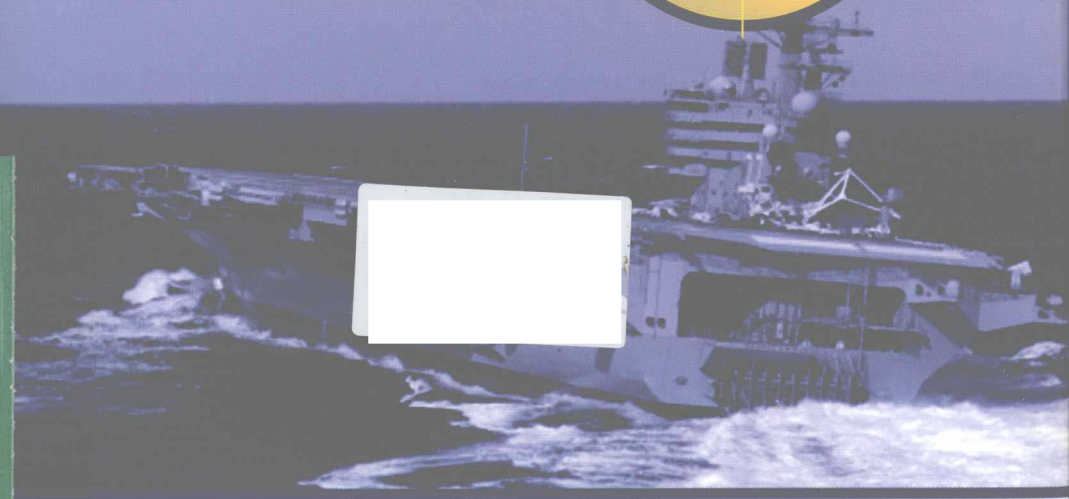
《水中兵器技术》丛书

Torpedo Simulation Technology

# 鱼雷仿真技术

蒋继军 主编

王改娣 杨云川 万亚民 副主编



国防工业出版社

National Defense Industry Press

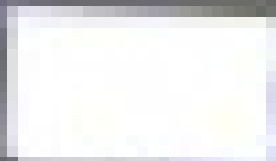
中国海洋工程装备技术丛书

Technology Innovation & Development

# 鱼雷仿真技术

张德胜 主编

王树强 副主编 李海刚 副主编 王立军



哈尔滨工程大学出版社

HEU PRESS

《水中兵器技术》丛书

# 鱼雷仿真技术

Torpedo Simulation Technology

蒋继军 主编

王改娣 杨云川 万亚民 副主编

国防工业出版社

·北京·

图书在版编目(CIP)数据

鱼雷仿真技术 / 蒋继军主编. —北京: 国防工业出版社, 2013. 8

(水中兵器技术丛书)

ISBN 978 - 7 - 118 - 08837 - 3

I. ①鱼... II. ①蒋... III. ①鱼雷 - 仿真  
IV. ①TJ63

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 166606 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 850 × 1168 1/32 印张 12 字数 306 千字

2013 年 8 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—2500 册 定价 55.00 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

## 致 读 者

本书由国防科技图书出版基金资助出版。

国防科技图书出版工作是国防科技事业的一个重要方面。优秀的国防科技图书既是国防科技成果的一部分,又是国防科技水平的重要标志。为了促进国防科技和武器装备建设事业的发展,加强社会主义物质文明和精神文明建设,培养优秀科技人才,确保国防科技优秀图书的出版,原国防科工委于1988年初决定每年拨出专款,设立国防科技图书出版基金,成立评审委员会,扶持、审定出版国防科技优秀图书。

**国防科技图书出版基金资助的对象是:**

1. 在国防科学技术领域中,学术水平高,内容有创见,在学科上居领先地位的基础科学理论图书;在工程技术理论方面有突破的应用科学专著。

2. 学术思想新颖,内容具体、实用,对国防科技和武器装备发展具有较大推动作用的专著;密切结合国防现代化和武器装备现代化需要的高新技术内容的专著。

3. 有重要发展前景和有重大开拓使用价值,密切结合国防现代化和武器装备现代化需要的新工艺、新材料内容的专著。

4. 填补目前我国科技领域空白并具有军事应用前景的薄弱学科和边缘学科的科技图书。

国防科技图书出版基金评审委员会在总装备部的领导下开展工作,负责掌握出版基金的使用方向,评审受理的图书选题,决定资助的图书选题和资助金额,以及决定中断或取消资助等。经评审给予资助的图书,由总装备部国防工业出版社列选出版。

国防科技事业已经取得了举世瞩目的成就。国防科技图书承

担着记载和弘扬这些成就,积累和传播科技知识的使命。在改革开放的新形势下,原国防科工委率先设立出版基金,扶持出版科技图书,这是一项具有深远意义的创举。此举势必促使国防科技图书的出版随着国防科技事业的发展更加兴旺。

设立出版基金是一件新生事物,是对出版工作的一项改革。因而,评审工作需要不断地摸索、认真地总结和及时地改进,这样,才能使有限的基金发挥出巨大的效能。评审工作更需要国防科技和武器装备建设战线广大科技工作者、专家、教授,以及社会各界朋友的热情支持。

让我们携起手来,为祖国昌盛、科技腾飞、出版繁荣而共同奋斗!

**国防科技图书出版基金  
评审委员会**

# 国防科技图书出版基金 第七届评审委员会组成人员

主任委员	王峰			
副主任委员	吴有生	蔡镭	杨崇新	
秘书长	杨崇新			
副秘书长	邢海鹰	贺明		
委员	才鸿年	马伟明	王小谟	王群书
(按姓氏笔画排序)	甘茂治	甘晓华	卢秉恒	巩水利
	刘泽金	孙秀冬	陆军	芮筱亭
	李言荣	李德仁	李德毅	杨伟
	肖志力	吴宏鑫	张文栋	张信威
	陈良惠	房建成	赵万生	赵凤起
	郭云飞	唐志共	陶西平	韩祖南
	傅惠民	魏炳波		

# 《水中兵器技术》丛书 编委会

主任委员 钱建平

副主任委员 徐德民 侯正明 杜刚

委员 陈庆作 张宁 崔立 王光宇 李乃晋  
(排名不分先后) 蔡志鹏 杨赅石 熊克仁 段桂林 董春鹏  
石月明 高洪林 肖昌美 姬利晨 马爱民  
高俊荣 孙明太 唐献平 宋保维 张效民  
苑秉成 龚沈光 黎佑铭 赵治平 余湖清  
李凝 郭育 许波建

办公室 赵京丽 张仁花 王正义 李嫣



## 序

我国水中兵器事业走过了半个多世纪的发展历程,经历了仿制、自行设计、试验、生产、装备使用和更新换装的全过程。曾研制生产了多个型号的产品,装备部队使用,并大力开展国际交流与合作,为国防现代化作出了贡献,与此同时,也造就了一支科研、教学、生产、试验和维修服务的技术队伍。

我国水中兵器事业的发展及其在诸领域取得的巨大成绩,是老一代科研、教学、生产、试验、使用专业人员的辛勤工作和无私奉献的结果。在世纪之交和新老科技工作者交替的时刻,如何继承和发扬水中兵器界已有的宝贵的实践经验,总结所取得的具有突破性发展的高新水中兵器技术,已属当务之急。随着我国水中兵器技术的发展,也造就了一批有突出贡献、学术成就显著和有较高造诣的老中青科技优秀人才。他们的科技成就和工作经验是我国水中兵器事业的宝贵财富,及时地记录这些成就,是十分必要的。为进一步促进我国水中兵器的现代化发展,培养新一代科技人才,认真总结在型号研制、预先研究、科学试验和教学中的丰硕成果,编著一部以工程技术人员、大学高年级学生和研究生为对象,具有理论与工程实践相结合,具有指导和参考作用的技术丛书是十分必要的。

因此,当水中兵器界的专家们提出编写出版《水中兵器技术》丛书时,就立即得到了业界的热烈响应,得到了各领导机关的重视与支持,得到了国防图书出版基金评委会和国防工业出版社的鼎力资助,才使编写出版《水中兵器技术》丛书的计划得以实施。借此机会,特向上述各位领导和专家们致以热忱的谢意。

《水中兵器技术》丛书将包括该领域内的鱼雷和反鱼雷技术、

水雷和反水雷技术、深水炸弹及发射技术,以及相关的总体技术、系统技术和试验及测试技术。相信该丛书的出版将对我国水中兵器事业的发展具有承前启后,继往开来的重要作用,将是一件具有里程碑意义的工作。



2003年2月18日

## 前 言

鱼雷仿真是随着鱼雷功能和性能的不断拓展提高而逐步发展起来的,已经成为鱼雷全寿命周期中不可或缺的重要技术手段。由于鱼雷是唯一能在水下自动寻的和精确制导的兵器,通常采用水声方式自动搜索和识别目标,难于测量和模拟的海洋水声环境使鱼雷仿真的研究和试验独具特色。近年来,鱼雷仿真研究有了重大技术突破和进展,在鱼雷研制中发挥了重要作用,取得了显著的军事和经济效益。

在中国造船工程学会水中兵器学术委员会组织下,第七〇五研究所承担了《鱼雷仿真技术》的编写任务,成立了领导小组和编写小组,各个方面给予了大力支持,有力保证了本书的编写进度和质量。

本书作者长期从事鱼雷仿真技术研究、仿真系统建设和仿真试验应用等工作,在工作中积累了大量的研究成果和丰富的实践经验,相关成果多次获得省部级奖。经过精心提炼、总结和升华,作者将近年来的主要研究成果汇集成本书的内容。全书共分9章:第1章概述鱼雷仿真技术研究的主要内容、作用和发展情况;第2章论述鱼雷仿真系统构造的内容和方法;第3章论述鱼雷仿真中涉及的主要数学模型和仿真模型;第4章论述鱼雷适用于不同研究目的的数学仿真方法;第5章论述鱼雷控制系统半实物仿真方法;第6章论述鱼雷自导系统半实物仿真方法;第7章论述鱼

雷复合制导半实物仿真方法;第8章论述鱼雷动力系统和引信系统半实物仿真方法;第9章论述鱼雷仿真试验的过程管理和可视化技术。

本书第1章、第2章由蒋继军编写;第3章由王改娣编写;第4章由王改娣、赵昌利、白志科编写;第5章由孙华、万亚民编写;第6章由杨云川、康文钰编写;第7章由万亚民、郑为编写;第8章由赵昌利、白志科、乔宏编写;第9章由郑为编写;全书的框架结构、统稿和修改工作由蒋继军完成。第七〇五研究所鱼雷仿真技术研究的奠基人和开拓者关国枢以及龙泽林、刘永丰、张西建、肖素娟、步向东、王敬堂提供了部分章节的初稿,黄华红、廖宏宇、张斌、胡鹏、聂卫东提供了相关内容的素材。

本书的编写得到了中国造船工程学会水中兵器学术委员会、第七〇五研究所、西北工业大学航海工程学院、海军工程大学等有关单位领导和专家的关心和支持,本书的部分研究内容得到了总装备部预先研究的资助。第七〇五研究所石月明研究员、金文凯研究员、陈春玉研究员、尹韶平研究员、王明洲研究员审读了本书并提出了许多宝贵意见。海军工程大学龚沈光教授、中国船舶重工集团公司第七一〇研究所陈刚研究员对本书初稿进行了全面细致的审查,从结构到文字细节给出许多中肯而具体的建议和意见。第七〇五研究所赵京丽同志在全书的编写过程中给予了大量帮助,全书编辑过程中郑为同志进行了卓有成效的工作,杨政同志校对、修改了许多公式和图表。感谢国防科技图书出版基金的支持,在本书的出版过程中,国防工业出版社许波建同志提供了很多好的建议。在此我们一并表示衷心感谢!作者在编写过程中参阅了许多国内外发表的文献资料,在参考文献中只能部分列出,谨向原

作者表示谢意。

本书可供从事鱼雷仿真、鱼雷总体、鱼雷自导等技术研究的科研人员,以及在此领域内从事科研、生产、试验和使用的技术人员参考,也可供高等院校相关专业师生参考。

由于作者水平有限,书中难免有不妥甚至错误之处,请读者批评指正。

编著者

2012年8月

# 目 录

<b>第1章 绪论</b> .....	1
1.1 鱼雷及其作战环境 .....	1
1.2 鱼雷仿真的作用 .....	5
1.3 鱼雷仿真的基本内容 .....	11
1.4 鱼雷仿真技术的发展 .....	16
<b>第2章 鱼雷仿真系统</b> .....	22
2.1 鱼雷仿真系统组成、分类与构造 .....	22
2.2 鱼雷数学仿真系统 .....	26
2.3 鱼雷半实物仿真系统 .....	30
2.4 系统调试与集成 .....	42
<b>第3章 鱼雷仿真模型</b> .....	50
3.1 概述 .....	50
3.2 建模过程及原则 .....	51
3.3 坐标系 .....	54
3.4 鱼雷运动模型 .....	62
3.5 鱼雷控制模型 .....	76
3.6 鱼雷弹道模型 .....	81
3.7 目标运动模型 .....	87
3.8 鱼雷目标相对运动模型 .....	88
3.9 鱼雷声自导物理场模型 .....	90
3.10 鱼雷声尾流模型 .....	109
3.11 鱼雷线导导引模型 .....	114
3.12 鱼雷动力推进模型 .....	120
3.13 鱼雷作战效能评估模型 .....	126

<b>第4章 鱼雷武器数学仿真</b>	133
4.1 概述	133
4.2 鱼雷初始运动数学仿真	134
4.3 鱼雷控制系统数学仿真	144
4.4 鱼雷声制导大回路数学仿真	149
4.5 鱼雷线导+声尾流制导大回路数学仿真	155
4.6 鱼雷作战效能评估数学仿真	160
4.7 鱼雷热动力系统数学仿真	163
4.8 鱼雷主动电磁引信数学仿真	169
<b>第5章 鱼雷控制半实物仿真</b>	175
5.1 概述	175
5.2 控制仿真系统组成及原理	176
5.3 仿真设备	179
5.4 仿真实例	196
<b>第6章 鱼雷自导半实物仿真</b>	202
6.1 概述	202
6.2 自导仿真信息处理过程与典型自导半实物 仿真系统	203
6.3 水声仿真环境建立	209
6.4 水下目标角仿真方法	220
6.5 环境仿真阵元与基阵	231
6.6 水声信号实时生成	237
6.7 其他仿真设备	244
6.8 典型的前视声自导仿真系统	249
6.9 尾流自导半实物仿真	254
6.10 实航数据注入自导仿真	264
6.11 自导系统半实物仿真实例	265
<b>第7章 鱼雷复合制导半实物仿真</b>	268
7.1 概述	268
7.2 仿真系统组成及原理	270

7.3	仿真设备 .....	280
7.4	仿真实例 .....	289
<b>第8章</b>	<b>其他系统典型半实物仿真 .....</b>	<b>295</b>
8.1	热动力系统启动过程半实物仿真 .....	295
8.2	换速变深过程半实物仿真 .....	304
8.3	主动电磁引信半实物仿真 .....	306
<b>第9章</b>	<b>鱼雷仿真试验管理与数据可视化 .....</b>	<b>312</b>
9.1	仿真试验过程控制 .....	312
9.2	系统误差和仿真精度分析 .....	319
9.3	建模与仿真 VV&A 技术 .....	327
9.4	仿真试验结果处理分析 .....	345
9.5	视景仿真与数据可视化 .....	350
<b>参考文献</b>	<b>.....</b>	<b>360</b>



# Contents

<b>Chapter 1 Overview</b> .....	1
1.1 Torpedo and its fighting environment .....	1
1.2 Functions of torpedo simulation .....	5
1.3 Basic contents of torpedo simulation .....	11
1.4 Development of torpedo simulaiton .....	16
<b>Chapter 2 Torpedo Simulation System</b> .....	22
2.1 Component, classification and construction of torpedo simulation system .....	22
2.2 Torpedo mathematics simulation system .....	26
2.3 Torpedo hardware-in-loop simulation system .....	30
2.4 Debugging and integration of system .....	42
<b>Chapter 3 Torpedo Simulation Model</b> .....	50
3.1 Introduction .....	50
3.2 Process and principle of modeling .....	51
3.3 Coordinate system .....	54
3.4 Torpedo kinetic model .....	62
3.5 Torpedo control model .....	76
3.6 Torpedo trajectory model .....	81
3.7 Target motion model .....	87
3.8 Relative motion model of torpedo and target .....	88
3.9 Torpedo homing acoustic field simulation model .....	90
3.10 Torpedo acoustic wake simulation model .....	109
3.11 Torpedo wire-guided guidance model .....	114
3.12 Torpedo power and propulsion model .....	120