



鱼雷力学

《鱼雷力学》编著组 编著

国防工业出版社

HK37/17

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,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. 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,内容明确、具体、有突出创见,对国防科技发展具有较大推动作用的专著;密切结合科学技术现代化和国防现代化需要的高科技内容的专著。
3. 有重要发展前景和有重大开拓使用价值,密切结合科学技术现代化和国防现代化需要的新技术、新工艺内容的科技图书。
4. 填补目前我国科学技术领域空白的薄弱学科的科技图书。

国防科技图书出版基金评审委员会在国防科工委的领导下开展评审工作,职责是: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,由国防工业出版社选出版。

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,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工业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
第一届评审委员会组成人员

主任委员： 邓佑生

副主任委员： 金朱德 太史瑞

委 员： 尤子平 朵英贤 刘琯德
(按姓氏笔画排列)

何庆芝 何国伟 张汝果

范学虹 金 兰 柯有安

侯 迁 高景德 莫梧生

曾 铎

秘 书 长： 刘琯德

《鱼雷力学》编审委员会

主任: 孙柱国

主审: 董琳

副主任: 高彬昌 杨占明

编委 (以姓氏笔划为序)

太史瑞	王树宗	王树桂	任克明	安宝珊
孙柱国	朱淑英	杨世兴	杨占明	杨保生
严忠汉	何俊颐	陈韻芬	苑秉成	段文斌
胡学章	欧阳吕伟	顾群	徐宣志	高彬昌
高福昌	郭儒政	谢于一	黄兴	董琳
董春鹏	詹致祥	廖德力		

《鱼雷力学》编著组

主编: 徐宣志

副主编: 欧阳吕伟 严忠汉

编著者 (以姓氏笔划为序)

王天奎	朱邦俊	陈财源	严忠汉	闵宪裕
何海珊	张效慈	束滋德	李蜀峰	欧阳吕伟
钱在棣	徐伯坝	徐宣志		

序

鱼雷力学是鱼雷工程的基础,是确定鱼雷战技性能指标的重要依据。在现代鱼雷的研制中,由于鱼雷力学的特殊地位与作用,它已成为提高鱼雷性能的关键技术之一。

为了深化对鱼雷力学领域的认识,本书作者根据他们多年从事鱼雷力学研究工作的实践及所取得的多项科研成果,并博览了国内外大量参考文献,写成了这本《鱼雷力学》学术专著。

全书共分五篇二十四章,基本上包括了鱼雷力学专业的全部内容,揭示了本专业的发展趋势,并提供了许多宝贵史料和学术信息。它的出版,对于开展学术研究与争鸣、对于新型鱼雷的研究与设计,都将起到推动作用。同时,对从事鱼雷工程研究的广大科技人员、海军部队中兵器专业的技术干部、院校师生都有重要参考价值。

本书有以下特点:其一,学术性强。作者没有系统地论述鱼雷力学的基本理论,而是把重点放在向读者展示本学科若干重要问题的国内外最新研究成果及发展动态,并根据未来鱼雷的发展,提出了鱼雷力学的十大研究课题。其二,实用价值高。作者在各篇的论述中,都力求紧密联系鱼雷工程的实际,并向读者披露了一些鲜为人知的数据资料。其三,起点高、内容新。作者是站在学术专著的高度上论述问题的。虽然书中也涉及到一些常规知识,但只是点到为止。阅读本书,无疑会大大拓宽眼界,并从中得到有益的启迪。

由于本书是鱼雷力学领域的第一部学术专著,书中所涉及的不少问题有的还在继续研究与探讨中,因此,还有待于今后的补充和完善。然而,池水需投砖石才能泛起涟漪,学术需经争鸣和实践才能得到发展。本书的问世,必将把鱼雷力学的研究工作提高到一个新阶段。

希望从事鱼雷科研、教学、生产及使用的广大科技人员都能认真总结已经取得的成果与经验,为把鱼雷力学的研究工作推进到一个新阶段而奋斗。

杨 汉

1991. 3. 1

前 言

本书是以鱼雷力学专业领域的科研成果为基础并广泛收集国内外资料而写成的。其目的在于抛砖引玉,为促进该学科的发展贡献一点微薄的力量。

全书共分五篇二十四章。第一篇阐述鱼雷线型设计、尾面布局及其水动力噪声控制等;第二篇重点论述导引弹道,并以较大篇幅阐述线导弹道;第三篇提供一种现代螺旋桨设计方法及其性能预报;第四篇阐述鱼雷入水基本问题和介绍入水载荷、入水初期弹道、入水水泡及入水缓冲技术等;第五篇介绍鱼雷结构静强度和动力响应分析方法。

书中导论由徐宣志、欧阳吕伟同志撰写;第一、二、三、五章由钱在棣同志撰写;第四章由闵宪裕同志撰写;第六、七、八、九章由李蜀峰同志撰写;第十章由徐宣志同志撰写;第十一章由陈财源同志撰写;第十二章由王天奎、何海珊、徐宣志同志撰写;第十三章由何海珊同志撰写;第十四、十八、十九章由严忠汉同志撰写;第十五章由欧阳吕伟同志撰写;第十六章由张效慈、欧阳吕伟同志撰写;第十七章由徐伯坝同志撰写;第二十、二十一、二十四章由束滋德同志撰写;第二十二、二十三章由朱邦俊同志撰写。

本书在编著过程中得到海装兵器部、海军论证中心、中船总第七研究院、军工部、船舶系统工程部等上级机关和《鱼雷力学》编审委员会以及范凤桐、杨应孚、管文光、孙清海、汪辅诚、程贯一、陈九锡等专家的关心与支持。书中各篇文稿还承蒙杨保生、刘瑞生、张中文、诸吉祥、沈哲等专家对口审阅。俞美仙、尹长富同志为本书的出版做了大量艰苦细致的工作。在此一并深致谢忱。

本书内容涉及较广,编著者学识有限,书中谬误、疏漏之处在所难免,我们恳切希望同行专家与广大读者给予指正。

编 者

目 录

导论.....	(1)
---------	-----

第一篇 鱼雷流体动力

第一章 鱼雷流体动力研究的新课题.....	(5)
1.1 鱼雷战术技术性能与鱼雷流体动力特性的关系.....	(5)
1.2 鱼雷流体动力性能研究中的技术关键.....	(8)
1.3 探索与启迪.....	(9)
第二章 鱼雷外形设计.....	(11)
2.1 外形设计的原则.....	(11)
2.2 无空泡层流雷头线型设计.....	(12)
2.3 鱼雷外形曲线的参函数逼近法.....	(17)
第三章 鱼雷动静力布局设计.....	(20)
3.1 作用在鱼雷上的动静力分析.....	(20)
3.2 鱼雷称重试验.....	(22)
3.3 鱼雷流体动力布局的现状与展望.....	(23)
3.4 流体动力参数的理论预报.....	(26)
3.5 雷体特性.....	(30)
3.6 动稳定性.....	(31)
3.7 机动性.....	(33)
第四章 鱼雷流体动力试验技术.....	(35)
4.1 相似准则.....	(35)
4.2 流体动力参数的分类.....	(38)
4.3 鱼雷位置导数及控制导数的测试方法.....	(40)
4.4 鱼雷旋转导数的测试方法.....	(51)
4.5 鱼雷附加质量系数的测试方法.....	(55)
4.6 平面运动机构.....	(57)
4.7 鱼雷流体动力试验技术的发展.....	(60)
第五章 鱼雷流体动力噪声及其控制.....	(62)
5.1 鱼雷主要水下噪声源.....	(62)
5.2 鱼雷水下噪声控制技术.....	(63)
5.3 鱼雷水下噪声试验技术.....	(69)

第二篇 鱼雷弹道

第六章 鱼雷弹道的基本内容与研究方法.....	(74)
-------------------------	------

6.1 鱼雷弹道在鱼雷研究中的地位	(74)
6.2 鱼雷弹道研究设计的内容	(75)
6.3 鱼雷弹道研究设计的方法	(75)
第七章 坐标系及其变换	(77)
7.1 地面坐标系	(77)
7.2 地面平移坐标系	(77)
7.3 雷体坐标系	(78)
7.4 速度坐标系	(78)
7.5 自导测量坐标系	(78)
7.6 发射艇遥测坐标系	(79)
7.7 坐标变换	(80)
第八章 鱼雷雷体动态特性	(86)
8.1 鱼雷受力分析	(86)
8.2 鱼雷运动数学模型	(91)
8.3 鱼雷运动数学模型的简化	(93)
8.4 鱼雷雷体特性	(97)
第九章 导引弹道	(109)
9.1 线导导引弹道	(109)
9.2 自导导引弹道	(138)

第三篇 鱼雷推进

第十章 鱼雷推进器的演变与发展	(165)
10.1 古老的推进形式	(165)
10.2 第二次大战前后的鱼雷推进器	(165)
10.3 现代鱼雷推进器	(167)
第十一章 鱼雷螺旋桨设计	(170)
11.1 近代对转螺旋桨研究概况	(170)
11.2 环流理论设计程序	(178)
11.3 设计实例	(194)
11.4 对转螺旋桨推进性能预报	(198)
第十二章 推进与空泡性能试验研究	(206)
12.1 推进性能试验研究	(206)
12.2 空泡性能试验研究	(227)
12.3 螺旋桨被动态水动力特性试验研究	(247)
12.4 外场试验	(252)
12.5 鱼雷螺旋桨加工精度分析	(254)
第十三章 推进性能的理论预报	(256)
13.1 理论预报方法与分析	(256)
13.2 一个实用的雷体流动和粘性阻力的计算方法	(258)
13.3 推进性能预报的经验公式法	(273)

第四篇 鱼雷入水

第十四章 入水基本问题	(284)
14.1 入水力学现象	(284)
14.2 入水过程	(284)
14.3 撞水载荷	(286)
14.4 弱波理论	(289)
14.5 侵水载荷	(295)
14.6 忽扑	(299)
第十五章 鱼雷垂直入水冲击载荷	(306)
15.1 轴对称体垂直入水运动方程	(306)
15.2 入水载荷的求解	(308)
15.3 尖拱形体垂直入水冲击载荷公式	(312)
15.4 尖拱形体载荷特性分析	(315)
15.5 椭球形体垂直入水载荷	(320)
15.6 平头体垂直入水载荷	(321)
第十六章 弹性雷体的撞水问题	(323)
16.1 水弹性力学的一般方程	(323)
16.2 弹性球体的撞水水弹性	(325)
16.3 平头旋转体垂直撞水气垫效应计算	(328)
16.4 平头旋转壳体撞水水弹性响应计算	(333)
16.5 空投鱼雷垂直入水载荷计算与响应分析	(338)
第十七章 入水空泡	(342)
17.1 空泡、空化和气泡	(342)
17.2 轴对称稳定空泡	(344)
17.3 带攻角物体的空泡	(349)
17.4 理想入水空泡	(350)
17.5 入水空泡的数值模拟	(351)
17.6 作用在带空泡雷体上的力	(355)
第十八章 鱼雷入水弹道	(361)
18.1 尾击	(361)
18.2 典型的入水初期弹道	(362)
18.3 鱼雷设计中需考虑的几个主要因素	(364)
18.4 入水初始条件和水域环境对入水初期弹道的影响	(366)
18.5 入水初期弹道预测	(367)
18.6 入水初期弹道实验	(372)
第十九章 鱼雷入水技术	(377)
19.1 鱼雷入水缓冲与限载技术	(377)
19.2 鱼雷入水初期弹道稳定技术	(384)

第五篇 鱼雷结构强度

第二十章 鱼雷结构形式及其承载特征.....	(391)
20.1 鱼雷所承受的载荷	(391)
20.2 鱼雷结构形式及选材	(392)
20.3 鱼雷结构强度与力学分析	(393)
第二十一章 鱼雷耐压壳体强度.....	(395)
21.1 均匀环肋加强圆柱壳体的应力	(395)
21.2 非均匀环肋加强多跨圆柱壳体的应力	(400)
21.3 轴对称旋转壳体应力分析的有限元法	(406)
第二十二章 鱼雷耐压壳体的稳定性.....	(413)
22.1 环肋加强圆柱壳体的总稳定性和肋间壳板稳定性	(413)
22.2 环肋加强圆锥壳体的总稳定性和肋间壳板稳定性	(425)
22.3 鱼雷耐压壳体稳定性设计的修正	(432)
22.4 鱼雷耐压壳体的最小重量设计	(434)
第二十三章 鱼雷耐压壳体开孔强度.....	(439)
23.1 鱼雷耐压壳体开孔应力集中理论计算	(439)
23.2 鱼雷耐压壳体开孔结构破坏压力计算	(452)
23.3 鱼雷耐压壳体开孔结构有限元分析	(453)
第二十四章 鱼雷结构振动和动力响应.....	(457)
24.1 鱼雷结构的横向弯曲振动	(457)
24.2 鱼雷结构的纵向振动	(465)
24.3 鱼雷结构固有振动的有限元分析	(468)
24.4 计算鱼雷结构动力响应的振型叠加法	(473)
24.5 计算鱼雷结构动力响应的直接积分法	(478)
主要符号对照表.....	(481)
参考文献.....	(482)

导 论

鱼雷和鱼雷力学

鱼雷是海军的主战兵器,它在世界海战史上是有着显赫的战绩的;在第一、二次世界大战中,由鱼雷击沉的舰艇在各类武器中占首位;1982年,英、阿马岛之战中,皇家海军的征服者号核潜艇仅发射两条“虎鱼”鱼雷就击沉了阿根廷海军的1.2万吨级的贝莱格朗诺将军号巡洋舰。目前,鱼雷已发展成为名副其实的水下导弹,可以预料在未来的海上战争中,鱼雷的地位和作用更是不容置疑的。

现代鱼雷可通过火箭助飞、飞机空投、潜艇和水面舰艇发射等多种方式攻击水面和水下目标,但不管采用何种发射方式,都要经过空中、入水、水下航行直至命中目标的全弹道过程。整个过程无不与力学原理和特性密切相关。从发射开始,鱼雷就需经受发射冲击载荷的考验。而空中弹道的力学行为又直接影响鱼雷的入水姿态。入水是一个短暂、变化激烈而又复杂的力学过程。入水瞬间不仅对雷体和雷内组件产生强烈的冲击载荷,而且对入水初期弹道带来严重影响。在入水过程中,鱼雷将经历撞水、侵水、带空泡运行、全侵湿等阶段。在这些阶段中将涉及到入水载荷、入水空泡、入水弹道、入水稳定技术等多种力学问题。鱼雷一般在入水20m左右进入水下弹道阶段,因此一般认为入水阶段是水中弹道的前期过程,入水姿态和初期非控弹道的稳定是保证水中弹道正常的必要条件。

鱼雷入水大约2s后,主机开始点火,推进器产生推力从零逐渐增大到额定值,鱼雷在控制系统的操纵下转入正常航行阶段。根据战术使命的要求不管以何种方式发射和采用何种弹道方案,鱼雷入水后的运动都可分为上爬或下潜、搜索、实施攻击等阶段。为了实施有效地攻击,鱼雷不仅要有可靠的动力、制导及控制系统,还必须具有良好的快速性、操纵性以及良好的水动力噪声性能。即要求鱼雷有良好的静力特性、入水缓冲特性、流体动力特性、高效低噪声的推进特性以及良好的弹道特性等。

对于深水反潜鱼雷,除了需要承受入水冲击载荷和具有上述良好水中力学特性外,还需具有承受深水压力载荷的总体结构强度和局部结构强度。

总之要保证鱼雷最终完成其战术使命,必须具备各种良好的力学性能。因此,可以说力学是鱼雷工程的一个重要的基础学科和技术支撑。鱼雷整个使用过程涉及到的力学领域是多方面的,概括起来包括如下五个方面:

- (1) 鱼雷流体动力;
- (2) 鱼雷推进;
- (3) 鱼雷弹道;
- (4) 鱼雷入水;
- (5) 鱼雷结构强度。

《鱼雷力学》一书试图比较全面地阐述鱼雷力学领域的若干最新研究成果,并尽可能地揭示该领域的发展动向与前景,希望能对鱼雷力学这一学科的发展起到一定的推动作用。

鱼雷力学的主要研究内容

《鱼雷力学》一书共分五篇、二十四章,为使读者不必阅读全书就有一个全面地了解,现将要点介绍如下:

1. 鱼雷流体动力

鱼雷流体动力学是研究水与鱼雷之间相互作用力的一门学科,是进行鱼雷外形设计、弹道计算及自导与控制系统设计的必要基础。

本篇重点阐述鱼雷线型优化设计,新型流体动力布局,现代流体动力试验技术及其水动力噪声源分析与噪声控制技术。

2. 鱼雷弹道

现代鱼雷已成为具有线导遥控导引加末声自导寻的攻击的全程制导武器,鱼雷弹道也随之向更为深广的领域发展。

鱼雷弹道研究设计的目的是根据对鱼雷的战术要求和技术现实,确定鱼雷弹道及鱼雷制导控制系统方案,使鱼雷通过线导遥控导引(或程序接近与搜索)及自导寻的攻击,最大可能地发现目标和命中目标,这是一个以鱼雷制导控制系统作为控制器,以鱼雷雷体动态特性作为受控对象,并包括目标(运动及形体)、发射艇运动特性在内的大系统问题。鱼雷弹道的研究设计成果将为各系统功能设置及分配、全雷及系统参数的优选,各系统的协同动作规程,全系统指令信息流程等提供重要依据。

本篇重点阐述鱼雷导引弹道,即鱼雷线导遥控导引和自导寻的攻击。其中线导导引弹道的内容在国内外书刊上尚属少见。

3. 鱼雷推进

鱼雷推进是鱼雷力学的一个重要分支,主要研究各种类型推进器的理论与设计。其目的是为鱼雷提供一种高效率低噪声的推进装置。由于推进器的特定运转环境以及它与鱼雷战术技术性能的关系,它所研究的问题又涉及空化、噪声、振动及其与雷体和发动机的匹配特性等。

本篇主要研讨鱼雷推进方面的一些最基本的问题,并以对转螺旋桨为主要研究对象。而对其它推进形式,只作扼要介绍。在选材上,尽量压缩理论论述和繁杂的公式推导,突出工程应用价值,力求反映近期研究成果。

近三十年来船用螺旋桨的理论得到了飞速的发展,其数学模型已相当成熟和完善,但是,由于鱼雷推进的特殊性,这些成果尚不能直接移植到鱼雷推进装置上来。鱼雷推进学科研究设计人员的重要贡献之一就是:在船用螺旋桨理论的指导下,结合鱼雷工程的要求选择合理的鱼雷推进形式,建立适合于鱼雷推进的设计程序并提供实用的推进性能预报方法。这正是本篇的主要内容。除此之外,本篇还介绍了鱼雷推进与空泡性能试验技术及其数据处理方法。本篇所述鱼雷螺旋桨被动水动力性能试验对入水初始弹道的研究有重要参考价值。

4. 鱼雷入水

“入水”是鱼雷由空中进入水下必然经历的一个过程。这是一个多学科的技术领域,所涉及的问题在鱼雷工程研究中占有非常重要的地位。

鱼雷入水问题的重要性不仅在于它是鱼雷由空中到水下的第一个“接口”,更重要的是,它的行为(入水速度、入水姿态、入水载荷等)将直接影响到鱼雷的水下航行(弹道)特

性。因此,入水问题的研究是具有很高的难度的。

本篇集国内外的主要研究成果,以鱼雷为主要研究对象,比较全面地阐述了鱼雷入水的若干问题。这些问题是:入水力学现象、入水载荷、入水空泡、入水弹道、入水缓冲与限载技术等。

入水技术是空投鱼雷的关键技术之一,一向被列为攻关项目。美国在第二次大战中使用的 MK-13 型空投鱼雷,限于当时对入水问题的认识和入水技术的发展水平,该雷在投放试验中曾出现过入水时撞坏壳体及其内装组件、入水弹道不稳、航行偏深和沉雷等事故,在 1000 条次的投放中,合格率仅为 20%。为此,战后美国就十分重视入水问题的研究工作,并已取得了重大的进展。我国对入水问题的研究虽然起步较晚,但由于起点高、进展快,目前已达到世界水平,部分项目甚至居世界领先地位。今后必须加强工程应用研究,尽快实现理论研究成果向在研空投鱼雷型号的转移。

5. 鱼雷结构强度

鱼雷壳体是鱼雷的主体结构,是各系统的主要承载构件。

本篇根据鱼雷壳体的结构形式和承载特点,应用结构力学的基本理论和有限元法,对鱼雷壳体及其主要耐压构件的总体强度、局部强度、开孔强度及稳定性进行了理论分析和计算,并结合实例给出了图谱和近似计算公式。这些公式和图谱可作为雷体结构设计的参考。

现代鱼雷的下潜深度已高达 600m,不久将达 1000m 以上,而静水压力是鱼雷壳体的主要危险载荷,这必然给鱼雷壳体的研究设计带来更大的困难。不仅如此,由于实际工程的需要,还要在鱼雷壳体上设置若干大小不等的孔穴,因此,如何选择开孔部位和形式也是壳体结构强度研究的主要内容。

应当指出《鱼雷力学》一书是作者在多年科研工作的基础上,结合鱼雷工程的实际而写成的。限于篇幅和许多问题研究的深度,本书不可能包括鱼雷力学领域的全部内容。随着鱼雷工程的发展,必将开拓鱼雷力学研究的深度和广度。

2020 年的鱼雷力学

科学技术的发展,也将促进舰艇装备及其鱼雷武器的发展。因此,未来鱼雷必然对鱼雷力学提出更高的要求。

鱼雷是攻击水面舰艇和潜艇的主要武器,也是最有效的武器。要研究鱼雷力学的发展,必须首先了解三个方面的问题:第一,未来舰艇将是什么样的?第二,未来鱼雷又将是什么样的?第三,为适应其变化,鱼雷力学必须研究解决的问题是什么?

要全面回答上述问题是十分困难的,所以,只能摘其有关要点,以便于与广大读者共同研讨。

关于第一个问题,我们可以参考美国正在进行并计划于 2010 年完成的“海上革命”。这项革命实施后,美国海军的主要战舰将发生下列变化:战舰航速达 60Kn;水线以上呈“龟背”型且无任何上层建筑,舰面涂覆吸收雷达波材料;水线以下为双层船体,动力推进装置为电动力和装于艇艏的对转螺旋桨(或超导电磁流),以消除尾流和降低噪声。

以上只是水面舰艇的变化。那么,潜艇又将如何发展呢?据西方海军战略专家透露,未来潜艇速度将达 40Kn 以上,表面涂覆消声材料,从而将更加隐蔽。

关于第二个问题。我们认为:未来鱼雷速度可达 50~70Kn;下潜深度将达 1000m;航

程将达 20000m 以上,从而成为集众多新技术于一身的名副其实的水下导弹。

关于第三个问题,下面列出鱼雷力学的十大课题,作为解答。

1. 鱼雷水动力噪声及其控制技术的研究
2. 涡控理论的工程应用研究
3. 新型鱼雷推进装置的研究设计
4. 减阻降噪技术的应用研究
5. 鱼雷尾部流场及其尾流应用的研究
6. 大深度鱼雷壳体的研究
7. 入水技术的应用研究
8. 新型鱼雷弹道的研究设计
9. 水下爆炸力学的研究
10. 鱼雷力学实验技术的研究

综上所述,我们可以得到如下认识:

1. 现代鱼雷是名副其实的水下导弹;
2. 鱼雷力学是鱼雷工程的一个主要分支,它包括流体动力、弹道、推进、入水及结构强度等五部分;
3. 在未来鱼雷的研究设计中,鱼雷力学的地位是不容忽视的。为了满足鱼雷日益发展的需要,鱼雷力学领域尚有许多新的课题需要攻克;
4. 如同其它学科一样,鱼雷力学也是不断发展和完善的,随着鱼雷工程的发展,不久还将有一些新的专业领域(如水下爆炸力学、仿生学等)加入到鱼雷力学这个“大家族”中来。

第一篇 鱼雷流体动力

第一章 鱼雷流体动力研究的新课题

1.1 鱼雷战术技术性能与鱼雷流体动力特性的关系

研制任务书规定的鱼雷战术技术指标是进行鱼雷设计和流体动力研究的基本依据。

鱼雷在流体介质中运动时所承受的流体动力是决定鱼雷技术性能的重要因素。衡量一型鱼雷性能优劣与设计质量高低的主要质量指标如：鱼雷航行质量指标 Bm^3 、鱼雷运动稳定性和机动性指标、鱼雷水下噪声指标等都直接与鱼雷的流体动力特性有关，而这些性能的优劣又直接影响鱼雷的战术技术性能。

1.1.1 流体动力特性对鱼雷运动性能的影响

应用正交设计法进行数值模拟，并对数值计算结果进行方差分析，可作出鱼雷流体动力特性对运动性能影响的分析。

为了确定流体动力参数对鱼雷运动特性影响的显著因素，可通过方差分析和量化直观分析而得到。以纵平面运动为例，通常考虑以下六个参数：

- (1) C_T^a ——鱼雷升力系数导数；
- (2) C_N^a ——鱼雷俯仰力矩系数导数；
- (3) C_T^b ——鱼雷横舵升力系数导数；
- (4) C_N^b ——鱼雷俯仰力矩系数导数；
- (5) C_T^v ——鱼雷纵平面内运动阻尼力系数；
- (6) C_N^v ——鱼雷纵平面内运动阻尼力矩系数。

一、方差分析结果

对直航平衡冲角 α 影响的显著因素为：

$$C_T^a, C_N^a;$$

对直航平衡舵角 δ 影响的显著因素为：

$$C_T^b, C_N^b;$$

对稳态旋回半径 R 影响的显著因素为：

$$C_N^v;$$

对稳态旋回半径 R 影响的次要因素为：

$$C_T^a, C_N^a, C_T^b, C_N^b.$$

二、直观分析结果

通过数值计算进行直观分析，计算分析结果如表 1-1、表 1-2、表 1-3 和表 1-4。

表 1-1 流体动力参数对冲角(α)的影响

因素 \ 因素变化 $\Delta\alpha$	5%	10%	15%	20%
C_T^*	2.9%	5.7%	8.2%	10.6%
C_N^*	1.9%	4.3%	7.2%	9.0%
C_T^d	0.3%	1.2%	1.7%	2.0%
C_N^d	0.6%	1.3%	2.0%	2.5%

表 1-2 流体动力参数对舵角(δ)的影响

因素 \ 因素变化 $\Delta\delta$	5%	10%	15%	20%
C_T^*	8.7%	15.8%	22.5%	28.7%
C_N^*	9.4%	16.7%	25.2%	33.7%
C_T^d	1.7%	4.0%	5.4%	7.4%
C_N^d	3.1%	5.5%	8.7%	11.0%

表 1-3 流体动力参数对旋回半径(R)的影响

因素 \ 因素变化 ΔR	5%	10%	15%	20%
C_T^*	5.3%	7.9%	11.2%	15%
C_N^*	4.2%	8.9%	12.4%	16.6%
C_T^d	1.2%	2.3%	4.6%	6.4%
C_N^d	2.1%	5.4%	7.4%	10.4%
C_T^v	3.6%	8.1%	11.8%	16.3%
C_N^v	7.6%	13.9%	21.3%	27.4%

表 1-4 流体动力参数对稳定裕度(G)的影响

因素 \ 因素变化 ΔG	5%	10%	15%	20%
C_T^*	3.5%	5.0%	6.3%	7.5%
C_N^*	2.2%	3.6%	5.8%	6.6%
C_T^d	4.5%	8.7%	12.7%	16.0%
C_N^d	1.3%	3.5%	4.3%	5.3%

由上可见,两种分析的结论是一致的。

1.1.2 水下噪声对鱼雷战术技术性能的影响

由于水声物理场是进行水下信息传递的唯一有效的物理场,所以鱼雷的水下噪声性能便成为鱼雷的主要技术指标之一。鱼雷水动力噪声将对下列战术技术性能有明显地影

响:

- (1) 声自导鱼雷的自导作用距离;
- (2) 声自导鱼雷的航速;
- (3) 鱼雷浅水性能;
- (4) 线导鱼雷导引精度;
- (5) 鱼雷的隐蔽性。

从以下各表的定量分析结果,可以看出有效的水下噪声控制而获得的显著效益^①:

- (1) 降低自噪声可增大声自导作用距离;

降低鱼雷自导头部位的自噪声,提高了声自导装置的信噪比,从而可有效地提高声自导作用距离。

表 1-5 降低自噪声提高被动自导作用距离的效益

自噪声降低 ΔN_L	2(dB)	4(dB)	6(dB)	8(dB)	10(dB)	12(dB)
自导作用距离增加 ΔS_H	16.4%	34.3%	53.6%	75.0%	97.9%	121.4%

表 1-6 降低自噪声提高主动自导作用距离的效益

自噪声降低 ΔN_L	2(dB)	4(dB)	6(dB)	8(dB)	10(dB)	12(dB)
自导作用距离增加 ΔS_H	9.0%	19.0%	29.1%	39.2%	50.0%	62.1%

- (2) 降低自噪声后,保持声自导作用距离不变,可等效允许提高鱼雷航速;

表 1-7 降低鱼雷自噪声后等效允许提高鱼雷航速的效益

自噪声降低 ΔN_L	2(dB)	4(dB)	6(dB)	8(dB)	10(dB)	12(dB)
等效允许鱼雷航速增加 Δv_T	6.1%	12.3%	19.1%	26.2%	33.9%	41.2%

- (3) 降低自噪声后,若保持自导作用距离不变,可相应提高鱼雷的浅水性能,减小鱼雷的航行深度,满足攻击水面舰艇的战术要求;

理论与实践均证明,鱼雷的水下噪声随航行深度变浅而增加,它们之间有着指数关系,即降低自噪声后,可等效的减小航行深度。

表 1-8 降低鱼雷自噪声后等效允许减小航深的效益

自噪声降低 ΔN_L	2(dB)	4(dB)	6(dB)	8(dB)	10(dB)
等效允许航深减小 ΔH_T	17.3%	33.9%	50.0%	65.6%	80.8%

^① 这里是为了便于分析问题而假设其它影响因素不变的条件下得出的分析结果——编者。