



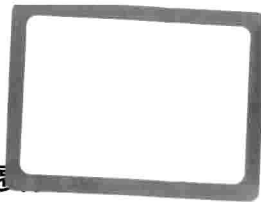
水中兵器风洞试验技术

□ 肖京平 主编 □



国防工业出版社
National Defense Industry Press

本书得到总装备部“1153”人才工程专项经费



水中兵器风洞试验技术

肖京平 主编

国防工业出版社

·北京·

图书在版编目 (CIP) 数据

水中兵器风洞试验技术 / 肖京平主编. —北京: 国防工业出版社, 2008. 1

总装备部研究生教育精品教材

ISBN 978 - 7 - 118 - 05364 - 7

I. 水... II. 肖... III. 水中兵器 - 风洞试验 - 研究生 - 教材 IV. TJ6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 141356 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 100044)

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 5 $\frac{3}{4}$ 字数 158 千字

2008 年 1 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—2000 册 定价 16.00 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

《水中兵器风洞试验技术》 编写组

主 编 肖京平

副主编 金 华 周瑜平

编 者 (按姓氏笔画为序)

马 军 尹绍平 乔宝英 巫朝君

李 明 张 晖 张卫国 高智勇

阎文成 熊召华 薛 伟

主 审 张彬乾

前 言

对于流体力学研究而言,解析流动问题的方法有三种:针对控制体积的研究方法或称积分分析法;针对非常微小系统的研究方法或称微分分析法;试验讨论的方法或称因次分析法。前两种方法为理论分析方法,后一种方法为试验分析的方法。我们知道,理论描述只在一定范围内并常带有一定近似性地反映客观现象,而模拟试验可以帮助学者或工程师理解理论与实际的这一联系,模拟试验对于得到某种自然现象的物理意义是十分重要的。在现代水中兵器研制中,流体力学试验占有举足轻重的地位,缺少这一环节,研制工作几乎就无法进行。

水中兵器流体动力性能试验,根据不同的研究方向,主要包括水洞试验、风洞试验、拖曳水池试验、悬臂水池试验等。以某鱼雷为例,通过水洞试验或风洞试验,可获得全雷的位置力系数和舵面控制性能试验数据,为鱼雷设计及航行弹道控制提供重要的控制参数;通过拖曳水池试验获得其航行阻力特性;通过悬臂水池试验获得其动态性能。水洞试验和风洞试验的区别在于其所用的流体介质不同,虽然风洞试验是利用空气为介质,但在低速范围内,水和空气的流动特性是一致的。风洞试验同水洞试验相比,一个较大的优势在于不存在水密性问题,且具有工作效率高、试验结果可重复性好等优点。

本书针对在风洞中开展水中兵器流体动力性能研究,结合目前国内开展的水中兵器风洞试验研究工作,介绍与水中兵器风洞试验技术相关的相似准则、试验方法、数据处理方法,以及典型的试验结果分析等。编写《水中兵器风洞试验技术》一书旨在向试验流体力学专业研究生和从事水中兵器风洞试验的工程技术人员讲授低速风洞试验的基本理论、介

绍水中兵器风洞试验的基本设备以及相关的试验技术、传授前人解决空气动力学问题的基本知识和技能,以便他们能有效地应用这些技术解决工程中的各种问题,引导他们去发现新现象、新问题,并寻求解决这些问题的新技术、新方法,创造水中兵器流体动力性能研究的新水平、新高度。

考虑到内容的系统性和篇幅限制,本书主要以鱼雷为例介绍水中兵器风洞试验技术,但所述内容对潜艇及其他水中兵器的风洞试验同样适用。

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 概述	1
1.2 鱼雷流体动力布局的发展	2
1.3 国内外鱼雷流体动力研究的主要手段和方法	9
1.3.1 国外研究情况	9
1.3.2 国内研究情况	10
1.4 在风洞中开展鱼雷流体动力研究的前景	11
参考文献	13
第 2 章 试验的基本理论	14
2.1 相似理论	14
2.1.1 相似的基本概念	14
2.1.2 相似准则	15
2.1.3 相似定理	17
2.2 基本的流动分析方法	18
2.3 量纲分析	21
2.3.1 量纲的基本概念	21
2.3.2 量纲分析	24
2.3.3 Π 定理	25
2.4 误差理论	29
2.4.1 误差的基本概念	29
2.4.2 系统误差	31
2.4.3 随机误差	34
2.4.4 粗大误差	35
2.5 影响风洞试验数据精度的主要因素	37

2.5.1	天平测量精度	37
2.5.2	压力测量精度	38
2.5.3	角度测量精度	38
2.5.4	数据采集系统精度	38
2.5.5	模型加工质量与模型振动的影响	39
2.5.6	气流脉动的影响	40
2.5.7	不同试验方法的影响	41
2.6	影响风洞试验数据准度的主要因素	41
2.6.1	模型	41
2.6.2	测量仪器	42
2.6.3	洞壁干扰	43
2.6.4	支架干扰	43
	参考文献	43
第3章	试验设备	44
3.1	风洞	44
3.1.1	风洞的类型	45
3.1.2	风洞的构造	46
3.1.3	风洞流场品质要求及改善方法	48
3.1.4	风洞的动力系数	52
3.1.5	风洞的控制系统	52
3.1.6	风洞的测量系统	53
3.2	模型支撑装置	58
3.2.1	β 机构	59
3.2.2	常规腹撑机构(α 机构)	59
3.2.3	Γ 机构	60
3.2.4	叉型支撑机构	61
3.2.5	弯刀尾撑机构	62
3.3	天平	62
3.3.1	六分量小滚转力矩盒式天平	63
3.3.2	小滚转力矩元件的设计	64

3.3.3	浮动框和固定框设计	64
3.4	试验模型	65
3.4.1	模型设计要求	65
3.4.2	模型与风洞设备配合要求	68
3.4.3	水中兵器模型制作要求及验收项目	70
3.5	带动力试验装置	72
3.5.1	变频器和电机稳转速闭环控制	72
3.5.2	变频电机和电机冷却装置	73
3.6	喷流试验装置	74
3.7	动导数试验装置	75
	参考文献	76
第4章	风洞模型试验	78
4.1	位置力试验	78
4.1.1	试验原理	79
4.1.2	试验参数	79
4.1.3	试验设备	80
4.1.4	试验方法及步骤	84
4.2	测压试验	87
4.2.1	试验模型	87
4.2.2	测压管路的技术要求	88
4.2.3	试验方法	89
4.2.4	试验数据处理	89
4.2.5	模型表面压力测量的新方法	90
4.3	舵面铰链力矩试验	91
4.3.1	试验模型	92
4.3.2	天平	92
4.3.3	试验方法	94
4.4	动导数试验	95
4.4.1	试验模拟参数选择	95
4.4.2	试验方法及原理	95

4.4.3	试验数据处理	97
4.5	喷流试验	97
4.5.1	试验模拟参数选择	98
4.5.2	试验方案	101
4.5.3	试验数据处理	101
4.6	雷伞组合体试验	103
4.6.1	雷伞组合体静态特性试验	104
4.6.2	开伞动态特性试验	105
4.7	流动显示试验	106
	参考文献	108
第5章	数据处理方法	109
5.1	平均气流偏角修正	109
5.1.1	平均气流偏角修正	109
5.1.2	求平均气流偏角的方法	111
5.2	支架干扰修正	113
5.2.1	模型支撑方式	113
5.2.2	支架干扰特性	114
5.2.3	支架干扰的修正方法	115
5.3	洞壁干扰修正	120
5.3.1	洞壁干扰的定义和修正方法	120
5.3.2	水平浮力修正	121
5.3.3	映像法	123
5.3.4	固体阻塞修正系数的计算	124
5.3.5	尾流阻塞修正系数的计算	125
5.3.6	阻塞修正	127
5.4	数据处理修正范例	127
5.4.1	天平载荷计算	128
5.4.2	姿态角修正	128
5.4.3	试验数据轴系由天平轴转换为模型体轴	128
5.4.4	化系数	130

5.4.5	支架干扰修正	130
5.4.6	试验数据由体轴系转换到风轴系	131
5.4.7	水平浮力修正	131
5.4.8	阻塞效应修正	131
5.4.9	试验数据转换到规定的轴系	132
	参考文献	132
第6章	典型试验结果	134
6.1	位置力试验	134
6.1.1	试验风速影响	135
6.1.2	试验精度	136
6.1.3	支架影响	136
6.1.4	全雷流动特性	137
6.1.5	动力影响	142
6.1.6	其他	144
6.2	测压试验	144
6.2.1	测压试验结果的表示方法	144
6.2.2	测压试验结果的分析	144
6.3	舵面铰链力矩试验	146
6.4	动导数试验	147
6.5	喷流试验	149
6.6	雷伞组合体试验	150
6.6.1	雷伞组合体静态特性试验	150
6.6.2	开伞动态特性试验	152
	参考文献	153
第7章	风洞试验数据相关性分析技术	154
7.1	风洞试验数据的工程修正方法	155
7.1.1	轴向力	155
7.1.2	侧向力和力矩	156
7.1.3	试验结果的拟合	157
7.1.4	空投鱼雷雷伞组合体试验数据的工程修正方法	158

7.2	风洞试验数据的相关性分析方法	158
7.2.1	风洞和水池试验数据相关性	158
7.2.2	试验数据和计算数据相关性	159
7.2.3	全雷流体动力参数与实航弹道数据的相关性	160
7.2.4	鱼雷流体动力参数辨识技术	160
7.2.5	雷伞系统气动参数相关性	166
7.3	风洞试验数据相关性研究展望	167
7.3.1	建立流体动力参数相关性分析软件平台 和数据库	168
7.3.2	加强新型鱼雷种类的试验技术及其相关性研究	168
	参考文献	169

第 1 章 绪 论

1.1 概 述

水和空气是自然界最普遍存在的两种物质,是我们的永久伴侣。人类很早以前就开始研究和利用它们。我们知道覆盖地球表面 70% 的是水,合理地利用水资源,可以便利交通。同时,海洋中蕴含了丰富的矿产资源,要充分利用这些资源,人类也必须征服海洋。船的发明使人类实现了在水面移动;潜水艇的发明,使人类能够饱览水下的丰富世界。

水中兵器是鱼雷、水雷、深水炸弹等水中作战兵器的总称,其共同的特点是以水为介质,在水中快速移动,根据不同的需要,达到各自作战的目的。从早期满载炸药的独木舟到现代自动控制下的高精度的精确打击武器,水中兵器性能的发展取得了长足的进步。研究水中兵器的流体动力问题就是为了更好地利用水中兵器的流体动力性能来达到提高水中兵器的作战性能的目的,比如:通过研究螺旋桨的特性达到提高航速;通过研究鱼雷的流体动力性能达到更有效地控制鱼雷航行轨迹;通过对超空泡技术的研究和利用,达到减小水下航行器的阻力,从而实现水下航行器航行速度有质的飞跃。

鱼雷是重要的水中兵器,其流体动力布局具有较强的代表性,自从第一条鱼雷问世以来,已经有一百多年的历史。它是一种能在水中自航、自控和自导,以水中爆炸毁伤为目标的水中武器。现代鱼雷具有速度快、航程远、隐蔽性好、命中率高和破坏威力大等特点,可以说是“水中导弹”。鱼雷的攻击目标是水面舰船和潜艇。舰船,尤其是潜艇性能的不断提高促进了鱼雷的更新发展。第一次世界大战末期,鱼雷还只是一种攻击水面舰船的武器,但它能在水线下面攻击水面舰船,因此,它比炮弹和航空

炸弹具有更大的威力。当时水面舰船性能比较低,鱼雷可实施近距离水面直航攻击而对目标构成严重威胁。设计这种鱼雷时,在流体力学领域内曾遇到的主要问题是鱼雷的快速性和航行稳定性。前者涉及到鱼雷低阻外形设计和对转桨设计,后者涉及到具有良好航行稳定性的鳍舵设计,对这种鱼雷没有提出机动性要求和噪声要求。第二次世界大战中,潜艇发射的鱼雷摧毁了大批水面舰船。为了对付潜艇的严重威胁,就必须着手研制反潜鱼雷。由于潜艇是三度空间的运动体,反潜鱼雷不仅应具有良好的快速性和必要的航行稳定性,而且还必须具有能对付潜艇规避的空间机动能力和自导能力。因此,鱼雷的设计开始有了机动性要求和噪声控制要求。

高性能的鱼雷必须具有三大主要因素:鱼雷的先进流体动力布局;强力推进方式;智能制导方式。在长期实践中认识到,鱼雷流体动力布局对鱼雷总体性能和部件效能的直接影响是至关重要的,与鱼雷的操纵性和稳定性密切相关。我国的鱼雷性能研究及设计还处于落后的状态,由于国外技术封锁和保密原因,技术上尚难于紧跟国外鱼雷的发展动态,而且国内缺乏系统的理论指导,开展型号研制及技术研究有限,严重影响着设计体系的完整建立。本书即是通过介绍研究鱼雷流体动力布局及其性能的风洞试验技术,推动我国鱼雷风洞试验技术的发展,为我国鱼雷流体动力性能研究创造条件。

1.2 鱼雷流体动力布局的发展

任何一件事物的发展总是存在一个过程的,了解这一发展过程有助于我们更好地预测它将来发展的方向。

鱼雷的发展历史可以追溯到古罗马时代,利用燃烧的战船去摧毁敌方的船队,这可以说是早期鱼雷的原型。1585年,意大利人赞贝尔(Zambell)在试验摧毁一座桥梁时,利用了一艘漂浮的小船靠近桥,采用时间延迟控制爆炸的方法摧毁了桥梁。

18世纪,美国人大卫·布谢尔(David Bushell)发明了一种人力推进的装置,如图1-1所示。在他发明的装置中填满炸药来摧毁敌人的船

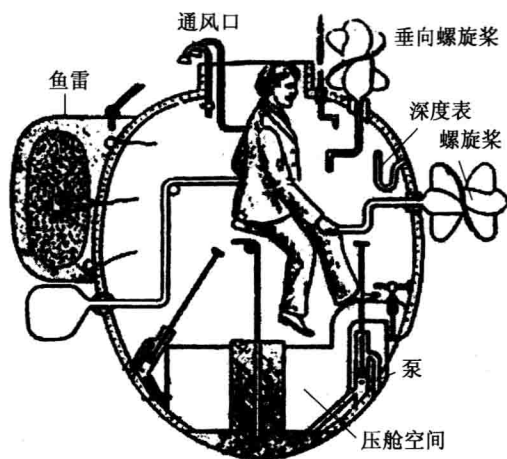


图 1-1 大卫·布谢尔的船

只,并正式将他的发明申请命名为鱼雷。后来,另外一个美国人罗伯特·富尔顿(Robert Fulton)将大卫·布谢尔的发明进一步发展得更为实用,并命名为“鹦鹉螺”号(Nautilus)。不久,富尔顿的成果就应用成为一种新式的武器,叫做桅杆状鱼雷船(Spar Torpedo Boat)。这种船利用蒸汽推进,船的前端有一个长长的装满炸药的突出物,在美国的南北战争中,这种武器被大量使用。图 1-2 所示的是英国皇家海军使用的一种典型的桅杆状鱼雷船(Spar Torpedo Boat)。

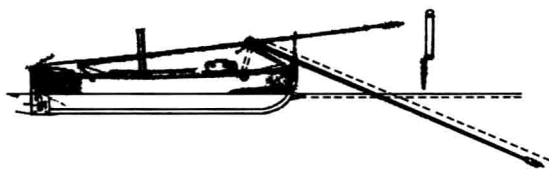


图 1-2 英国桅杆状鱼雷船

在鱼雷的发展史上,最具天赋、对后世影响最大的还是英国工程师罗伯特·怀特黑德(Robert Whitehead)。他于 1866 年成功地研制出第一枚鱼雷,利用压缩空气发动机带动单螺旋桨推进,通过液压阀操纵鱼雷尾部的水平舵板控制鱼雷的航行深度。1868 年,罗伯特·怀特黑德设计制造

了 14in (1in = 2.5cm) 和 16in 两型具有代表性的鱼雷, 航程 700 码 (1 码 = 0.9m), 航速 7km。图 1-3 是这一早期鱼雷的示意图。该鱼雷体现出早期鱼雷在外形设计上的一个共同特点, 螺旋桨套有外罩以防止螺旋桨被损坏。同时, 在鱼雷后部有很大的方向控制舵。如今, 这两个特性在现代鱼雷中已经不复存在了。几乎与罗伯特·怀特黑德同时, 俄国发明家亚历山大·罗夫斯基也研制出类似的鱼雷装置。1887 年 1 月, 俄国舰艇向 60m 外的“因蒂巴赫”号通信船发射鱼雷, 将其击沉, 这是海战史上第一次用鱼雷击沉舰船。



图 1-3 白头翁鱼雷原理样图(1868 年)

1895 年, 是鱼雷发展史上重要的一年, 取得了自鱼雷产生以来最重大的进步。罗伯特·怀特黑德将奥地利人路德维希 (Ludwig Obey) 发明的陀螺仪引入到鱼雷的方向控制上, 用它来控制鱼雷定向直航, 大大提高了鱼雷的命中精度, 使鱼雷真正成为一种远距离的杀伤武器。

由于人们一直认为尖头更有利于在水中航行, 所以在早期鱼雷中, 几乎均设计为尖头, 这基本上是早期鱼雷共有的特点。但是, 伟大的流体动力学家弗路德 (Froude) 教授认为, 钝头并不影响速度, 同时可以携带更多的弹药。于是, 利用 MK W Fiume 和 MK XI 鱼雷进行了钝头和尖头的对比性试验, 试验证明了弗路德教授的观点。1909 年, 美国出现了半球状头部的鱼雷, 如图 1-4 所示。在鱼雷推进技术上, 1904 年, 美国人 E. W. 布里斯发明用热力发动机代替压缩空气发动机的第一条热动力鱼雷 (亦称蒸汽瓦斯鱼雷), 使鱼雷的航速提高至约 65km/h, 航程达 2740m。

第一次世界大战开始时, 鱼雷已被公认为仅次于火炮的舰艇主要武器。第一次世界大战期间, 被鱼雷击沉的运输船达 1153 万吨, 占被击沉运输船总吨位的 89%; 舰艇 162 艘, 占被击沉舰艇总数的 49%。第二次世界大战期间, 被鱼雷击沉的运输船总吨位达 1366 万吨, 占被击沉运输船总吨位的 68%; 舰艇达 369 艘, 占被击沉舰艇总数的 38.5%。

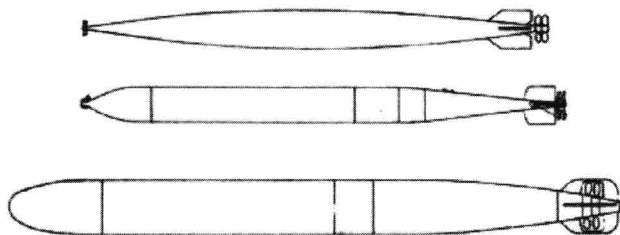


图 1-4 鱼雷头部外形的发展

第二次世界大战以后,鱼雷发展得很快,这在很大程度上取决于潜艇、航空母舰、导弹驱逐舰、导弹巡洋舰等舰艇的迅速发展。为了能有效地攻击这些高性能目标,对现代鱼雷的设计提出了更高的性能要求,如高速、远航程、高机动性、低辐射噪声、高导引精度等。这就使现代鱼雷的流体动力布局势必须突破过去惯用的常规布局而应有所创新。如英国在 20 世纪 80 年代装备了名为 MK-24(又称虎鱼 Tigerfish)的大型线导主被动声自导电动力鱼雷;美国研制了 MK-46 鱼雷,这是一种多用途的声自导热动力反潜鱼雷,可由水面舰艇发射管发射,也可由直升机或固定翼飞机投放,目前共生产了 20000 条左右,是世界上产量最多的一种鱼雷;法国在 20 世纪 80 年代研制了一种小型声自导反潜电动力鱼雷,可用于水面舰艇管装或空投发射,其最大特点是能够垂直命中目标要害。

总的说来,20 世纪后期由于军舰及潜艇在快速性和机动性上大幅度提高,尤其是第二次世界大战,大大刺激了各项军事工业技术的发展,而德国人更是大量使用鱼雷攻击盟军军舰,促使鱼雷性能不断提高。于是,随着控制技术、推进技术等的发展,鱼雷也得到了长足的进步,表现在推进技术、流体动力布局以及发射平台等方面。如在推进方式上,有对转桨推进器、泵喷射推进器、导管螺旋桨推进器,以及火箭喷射推进器等。在流体动力布局上,有十字形布局、X 形布局;舵有后缘舵、全动舵。为了提高舵面控制能力,出现了舵面端板等;在发射方式上,为适应各种复杂的战斗环境与发射条件的需要,出现了在高速舰艇上侧向不同方位发射,在直升机水平挂架上投放等。