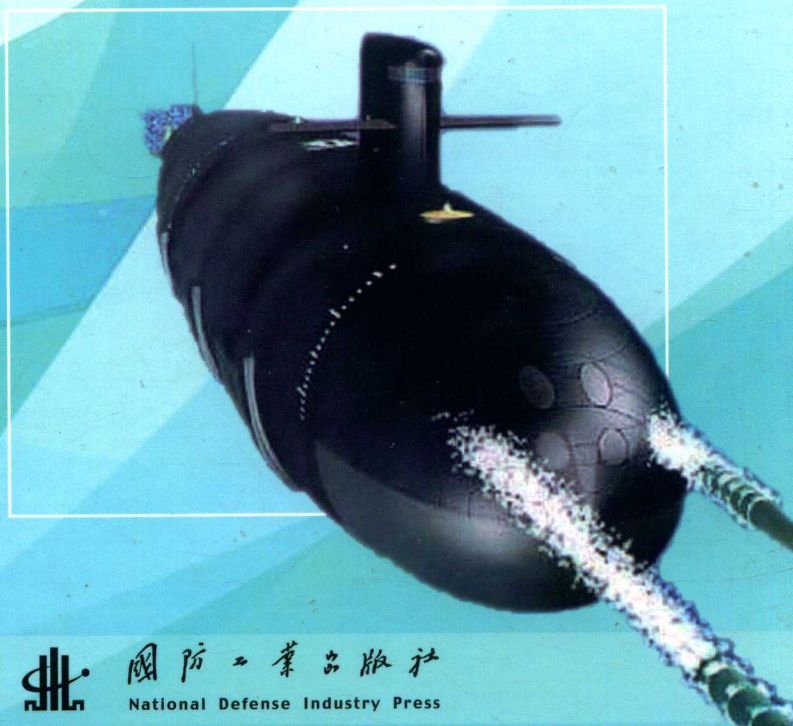


# 潜艇旋转泵式鱼雷发射系统 原动机总体设计与仿真

General Design and Simulation on the Prime Mover of Submarine  
Rotary Pump Torpedo Launching System

丨 练永庆 李宗吉 等著



国防工业出版社  
National Defense Industry Press

# 潜艇旋转泵式鱼雷发射系统 原动机总体设计与仿真

练永庆 李宗吉 吴朝晖 陈宜辉 著

国防工业出版社

·北京·

## 内 容 简 介

本书主要介绍了潜艇旋转泵式鱼雷发射系统原动机研制过程中的总体结构设计等相关内容。全书共分5章,较详细地论述了转轮式、斜盘式及对置凸轮式三种类型原动机及其负载(旋转泵)的总体结构设计、瞬态工作过程仿真以及原理验证试验等内容,反映了作者在潜艇旋转泵式鱼雷发射系统原动机方面取得的相关研究成果。

本书可作为高等院校水中兵器发射技术专业本科生的本科生及研究生参考书,也可供从事潜艇鱼雷发射装置研究、设计、生产、监修、试验与使用的相关工程技术人员和技术管理人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

潜艇旋转泵式鱼雷发射系统原动机总体设计与仿真/  
练永庆等著. —北京:国防工业出版社,2017.5  
ISBN 978-7-118-11179-8

I. ①潜… II. ①练… III. ①潜用鱼雷-旋转  
泵-发射系统-研究 IV. ①TJ631

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 086707 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)

北京嘉恒彩色印刷有限责任公司

新华书店经售

\*

开本 710×1000 1/16 印张 14½ 字数 255 千字

2017年5月第1版第1次印刷 印数1—2000册 定价88.00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

# 序

潜艇旋转泵式鱼雷发射装置是目前国外现役潜艇装备的技术最先进的鱼雷发射装置。作者围绕旋转泵式鱼雷发射装置的发射系统核心组件——原动机开展了长期研究,提出了喷射式空气轮机、斜盘发动机以及对置凸轮发动机三种新型原动机方案,完成了多种类型原动机及其负载(旋转水泵)的总体论证、发射过程仿真以及原理样机试验等研究工作,本书是作者多年理论研究与工程实践成果的总结。

本书是国内第一部系统介绍潜艇旋转泵式发射系统原动机总体设计与仿真内容的专著,不仅可作为高等院校兵器学科与技术学科水中兵器发射技术专业研究生参考书,还可供从事舰艇鱼雷发射装置研究、设计、试验等的相关技术人员参考,本书的出版将对我国鱼雷发射装置技术领域的发展和提高做出有益的贡献。

西北工业大学



# 前 言

潜艇旋转泵式鱼雷发射装置是利用旋转泵的旋转升压代替往复泵式发射装置的往复泵直线式推拉升压,从而实现鱼雷、导弹、水雷等武器的水下发射。目前在国外,旋转泵式发射装置的发射系统以空气涡轮机为原动机,因此也称该发射装置为涡轮泵式发射装置。涡轮泵式发射装置和原往复泵式发射装置相比,具有体积小、重量轻、发射深度大、发射时结构振动噪声较低等优点,装备了很多国外现役潜艇。

为了提高我国潜艇鱼雷发射装置的现有水平,国内对旋转泵式发射装置开展了系统和深入的研究。本书是作者多年来围绕旋转泵式发射装置的发射系统核心组件——原动机展开研究所取得的理论与工程实践方面成果的总结。书中所论述的喷射式空气轮机、斜盘发动机及对置凸轮发动机均为作者研究团队所首创。书中以旋转泵式鱼雷发射装置的基本结构原理为起点,较系统地论述了各类原动机工作原理与结构特点、总体论证、发射过程仿真、原理样机试验等理论与知识。书中所有原动机工作过程仿真都经过编程计算,不少仿真结果已经过原理样机的试验验证。

全书共5章,第1章为潜艇旋转泵式发射系统概论,主要介绍潜艇鱼雷发射装置发展概况等基础知识以及旋转泵式发射装置的基本结构组成与工作原理,为后续内容介绍作铺垫。第2章为旋转水泵,全面论述了潜艇旋转泵式发射系统原动机负载——旋转泵的主要性能指标论证、总体方案设计、主要水力参数设计以及三维流场仿真等内容。第3章为转轮式原动机,主要叙述了空气涡轮机以及喷射式空气轮机两种转轮式原动机的结构组成、工作原理、理论分析计算以及以单压力级空气涡轮机为原动机的旋转泵式发射系统发射过程仿真。第4章主要讲述斜盘发动机的技术指标论证、总体结构设计、发动机的动力学建模、以该发动机为原动机的发射系统发射过程仿真以及缩比样机试验等相关内容。第5章主要论述了对置凸轮发动机的总体方案论证与设计、运动学与动力学分析、

## VI —— 潜艇旋转泵式鱼雷发射系统原动机总体设计与仿真

以该发动机为原动机的发射系统发射过程仿真以及全尺寸发动机样机的原理验证试验。

参与本书撰写的有练永庆副研究员(第1、4章,第2、3、5章部分)、李宗吉副研究员(第2、3章部分)、吴朝晖副研究员(第3、5章部分),陈宜辉博士(第3章部分),全书由练永庆统稿、定稿。

由于旋转泵式发射系统原动机的研究涉及机械、流体力学、热力学、材料等多个知识领域,本书内容不可能面面俱到。在编写过程中以原动机的基本结构为基础,重点突出与原动机总体论证及与设计紧密相关的原动机工作过程建模与仿真的内容,至于其他相关技术与结构设计读者可参考借鉴其他门类的知识。由于作者的水平限制,书中肯定还存在不足,甚至错误之处,恳请读者予以批评指正。

本书编写过程中,得到了海军工程大学兵器工程系领导的大力支持及王德石教授等的帮助,本书的出版还得到海军工程大学专著基金的资助,在此一并表示诚挚的谢意!

**最后谨以此书**

**献给我们尊敬的博士生导师——王树宗教授!**

**献给我们尊敬的专业老师——马世杰教授!**

作者

2017年3月

# 目 录

第 1 章 潜艇旋转泵式鱼雷发射系统概论 .....	1
1.1 潜艇鱼雷发射装置概述 .....	1
1.1.1 潜艇鱼雷发射装置发展概况 .....	1
1.1.2 潜艇鱼雷发射装置的基本组成 .....	6
1.2 潜艇旋转泵式鱼雷发射装置概述 .....	10
1.2.1 潜艇旋转泵式鱼雷发射装置发展概况 .....	10
1.2.2 潜艇旋转泵式鱼雷发射系统基本组成与工作原理 .....	11
1.2.3 潜艇旋转泵式发射装置特点与性能指标 .....	13
第 2 章 旋转水泵 .....	14
2.1 旋转泵工作特性与设计原则 .....	14
2.1.1 旋转泵的工作特性 .....	14
2.1.2 旋转泵设计的总要求、步骤及应综合考虑的因素 .....	15
2.2 旋转泵主要性能指标论证 .....	16
2.3 旋转泵总体方案设计 .....	19
2.3.1 旋转泵选型 .....	19
2.3.2 旋转泵主要水力参数设计 .....	20
2.4 旋转泵内部流场仿真 .....	38
2.4.1 旋转泵仿真模型的建立 .....	38
2.4.2 流场数值计算 .....	41
第 3 章 转轮式原动机 .....	47
3.1 原动机工作特性与设计原则 .....	47
3.2 空气涡轮机的基本结构组成与设计计算方法简介 .....	48
3.2.1 空气涡轮机结构概述 .....	48
3.2.2 空气涡轮机的热力计算方法概述 .....	50
3.3 空气涡轮机—泵发射系统发射过程的建模与仿真 .....	51



3.3.1	空气涡轮机—泵发射系统发射过程的数学建模	51
3.3.2	仿真与分析	59
3.4	喷射式空气轮机结构原理与设计计算分析	64
3.4.1	喷射式空气轮机结构与工作原理	64
3.4.2	喷射式空气轮机旋转喷管中的一元流动分析	66
3.5	喷射式空气轮机—泵发射系统发射过程的数学建模与仿真	76
3.5.1	喷射式空气轮机—泵发射系统数学建模	76
3.5.2	喷射式空气轮机—泵发射系统发射过程仿真与分析	78
<b>第4章</b>	<b>斜盘发动机</b>	<b>84</b>
4.1	国内外有关斜盘式动力机械的研究概况	84
4.2	斜盘发动机总体结构方案选择	86
4.2.1	斜盘发动机三种典型结构形式 <sup>[26]</sup>	86
4.2.2	典型结构的方案组合	88
4.2.3	对较优方案改进生成的总体方案	89
4.3	斜盘发动机的技术指标与结构参数论证	91
4.3.1	斜盘发动机的技术指标确定	91
4.3.2	斜盘发动机的基本结构参数以及主要结构参数的确定	92
4.3.3	斜盘发动机主要零部件的材料选择	95
4.4	斜盘发动机的运动学分析	96
4.4.1	斜盘发动机的机构抽象及其自由度的确定	96
4.4.2	斜盘发动机的坐标系建立与相互间转换	97
4.4.3	发动机主要零部件运动分析	99
4.5	斜盘发动机的动力学分析	105
4.5.1	斜盘发动机的动力学方程	105
4.5.2	斜盘发动机的主要零部件受力分析	109
4.6	斜盘发动机—泵发射系统建模与仿真	121
4.6.1	全系统仿真模型	121
4.6.2	仿真结果与分析	127
4.7	斜盘发动机—泵发射系统缩比样机试验	140
4.7.1	缩比样机试验概述	140
4.7.2	试验系统主要组件相似匹配分析	141
4.7.3	试验系统组成	143
4.7.4	系统工作原理	147



4.7.5	缩比样机工作过程试验结果与分析 .....	147
<b>第5章</b>	<b>对置凸轮发动机 .....</b>	<b>161</b>
5.1	对置凸轮发动机的总体方案与设计 .....	161
5.1.1	凸轮发动机的研究概况 .....	161
5.1.2	对置凸轮发动机的总体结构方案 .....	162
5.1.3	对置凸轮发动机的技术指标与结构参数论证 .....	163
5.2	对置凸轮发动机的运动学和动力学分析 .....	170
5.2.1	对置凸轮发动机的运动学分析 .....	170
5.2.2	对置凸轮发动机的动力学分析 .....	180
5.2.3	对置凸轮发动机的机械效率 .....	184
5.3	对置凸轮发动机—泵发射系统建模与仿真 .....	186
5.3.1	发射系统仿真模型 .....	186
5.3.2	发射系统仿真 .....	190
5.3.3	主要参数对发射系统性能的影响 .....	199
5.3.4	与斜盘发动机—泵发射系统方案的比较 .....	207
5.4	对置凸轮发动机—泵发射系统全尺寸原理样机试验 .....	207
5.4.1	全尺寸原理样机试验概述 .....	207
5.4.2	试验系统组成及工作原理 .....	208
5.4.3	试验结果与分析 .....	212
<b>参考文献</b>	.....	<b>218</b>

# 第 1 章 潜艇旋转泵式鱼雷发射系统概论

本章主要介绍潜艇鱼雷发射装置发展概况、基本组成等基础知识以及旋转泵发射装置的基本结构组成与工作原理,为后续内容介绍作铺垫。

## 1.1 潜艇鱼雷发射装置概述

### 1.1.1 潜艇鱼雷发射装置发展概况

潜艇鱼雷发射装置随着鱼雷和潜艇的产生而产生,并随着鱼雷的发展、潜艇性能日益提高和科技的发展而逐步完善。

1881 年前出现的潜艇,只能说是可以潜水的船,下潜深度很小,鱼雷的发射深度也较小,发射管较简单,以栅状管为主。木质或铁质圆柱形栅状管,多布置在潜艇甲板上和耐压壳体与外壳之间。潜艇发射鱼雷时先解脱鱼雷制动并打开鱼雷扳机后,鱼雷则靠自身动力驶离栅状管。可见最早的潜艇鱼雷发射方式是自航发射法,是无动力发射的。

1878 年出现了钢质鱼雷发射管之后,为了达到出其不意,攻其不备之目的,人们更注意将钢质发射管应用于潜艇以发射鱼雷。随之在潜艇上出现了钢管水流式鱼雷发射装置和气动式鱼雷发射装置<sup>[1]</sup>。水流式鱼雷发射装置是先将气瓶中的压缩空气注入水柜,将水压入发射管中推鱼雷出管,如图 1-1-1(a)所示。气动式鱼雷发射装置是将气瓶中的高压空气直接注入发射管中推鱼雷出管,如图 1-1-1(b)所示。

由于气动式鱼雷发射装置和水流式鱼雷发射装置发射过程中气门开启不易控制,开快了,鱼雷或水柜易被压坏,开慢了,能量不够用,推不动鱼雷或造成鱼雷卡管,于是 1901 年研制了能自动调节气门开启速度和行程的发射阀。以后又经过逐步完善,成为现在使用的发射开关(发射阀),解决了发射气门的控制问题。

由于早期气动式发射装置发射鱼雷时,压缩空气随鱼雷冲出发射管,在水面上造成巨大气泡,暴露潜艇的位置,而且由于鱼雷出管后破坏了潜艇的均衡,影响了潜艇的操纵,为此在第二次世界大战前又研制出了无泡无倾差系统(简称

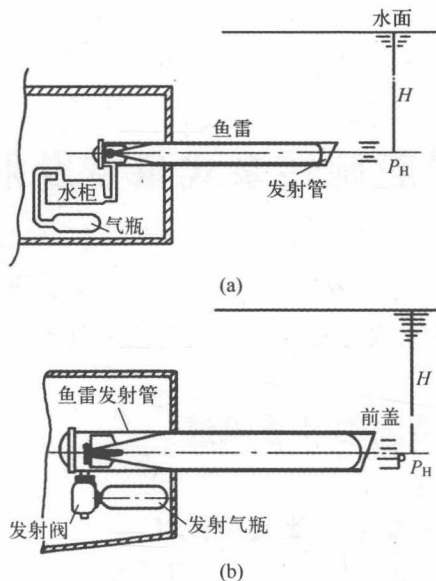


图 1-1-1 水流式及气动式鱼雷发射装置发射原理  
(a) 水流式; (b) 气动式。

无泡系统),把发射管中的废气收回舱室,并吸入定量海水以补偿均衡差。第二次世界大战的实战证明,这对提高潜艇的作战效果很显著。加装了发射阀与无泡系统的气动式发射装置经不断改进与完善成为现代潜艇使用的气动不平衡式鱼雷发射装置。不平衡式发射是指发射过程中鱼雷前后海水静压不相等,发射时必须使鱼雷后部的压力高于鱼雷前部所受到的海水静压力和潜艇航行引起的动压力。

随着潜艇和鱼雷性能的日益改进,特别是核潜艇出现后,作战深度的增加要求鱼雷发射深度相应的增大。由于气动式或水流式发射装置的不平衡式发射原理决定了发射越深,发射时所需发射空气能量就越大,收回舱室的废气量就越大,而舱室气压增加的脉冲值又不能超出人体所能承受的限度,这就限制了发射深度的增加,直到 20 世纪的前半个多世纪中,气动式发射深度未能突破 60m,但在 70 年代,苏联率先研制并在“基洛”级潜艇上装备了 IC-240 型气动不平衡式鱼雷发射装置,其发射深度达到 240m。60 年代初潜艇水下发射原理进行了根本性的改变,发射前首先使发射管后部也通海,使鱼雷前后受到的静压力相平衡,发射时通过发射动力装置对鱼雷做功,将鱼雷推出发射管,这称为平衡式发射原理。采用这种发射原理发射鱼雷所需的发射能量一般不随发射深度的改变而变化。该发射原理衍生了多种潜艇鱼雷发射装置,最早的为往复泵式发射装置。苏联、美国、英国等国家 20 世纪 60 年代初使用

的往复泵式鱼雷发射装置<sup>[1]</sup>(图1-1-2)主要由发射管、水缸、通舷外的舷侧管、气缸、高压气瓶等组成。这种发射装置发射时通过气瓶中的高压空气推动气缸活塞,气缸活塞经活塞杆带动水缸活塞把海水压入发射管,从而推动鱼雷出管。采用平衡式发射原理的发射装置,除往复泵式外,还有气动冲压式与旋转泵式。60年代,法国研制了气动冲压式鱼雷发射装置<sup>[2,3]</sup>(图1-1-3),该装置发射时将发射气瓶中高压空气充入多级伸缩活塞组成的冲压器,推动活塞节节向前伸展,将鱼雷顶出发射管。70年代末,英国、美国等国家研制了旋转泵式鱼雷发射装置<sup>[4]</sup>(图1-1-4),该装置以发射气瓶的高压空气驱动空气涡轮机转动,空气涡轮机通过减速器带动旋转水泵旋转,把海水泵入发射管以推动鱼雷出管。采用水压平衡式发射原理,理论上发射装置的发射深度是无限的,但实际上由于受到发射装置设计诸多因素的制约,其发射深度总还是一个有限的合理值。现在水压平衡式发射装置鱼雷发射深度一般为300m,最大发射深度可达到600m。

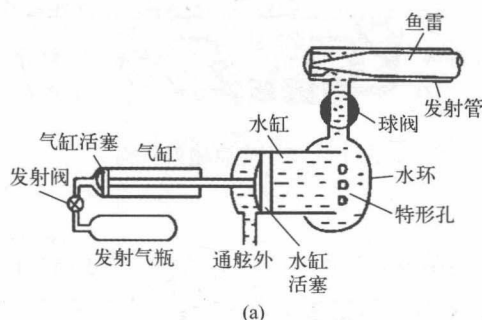


图 1-1-2 往复泵式鱼雷发射装置

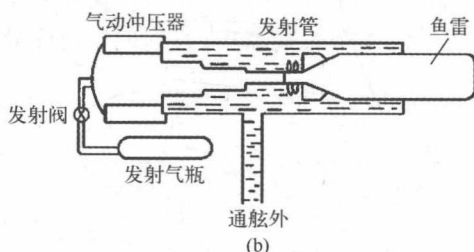


图 1-1-3 气动冲压式鱼雷发射装置

为了满足更大潜深潜艇大深度发射武器的需求,各国都在探索大深度发射鱼雷的方法。如意大利怀特·黑德鱼雷公司在自航发射的基础上,增加应急抛射机构(图1-1-5),该机构可在气、液冲压活塞的作用下,通过滑轮、钢丝绳、小拖车拉鱼雷下尾鳍,将鱼雷抛射出管。日本有人设想在自航发射的基础上,在鱼

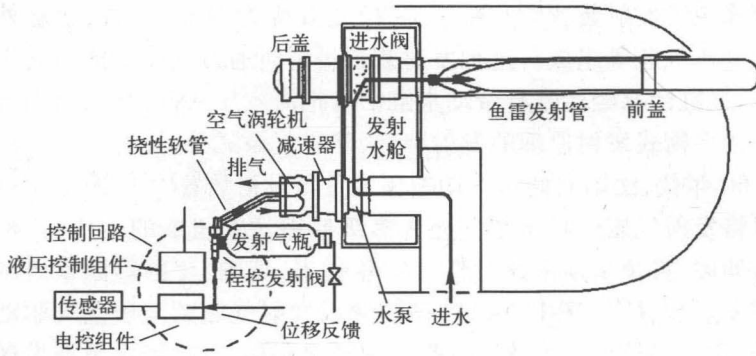


图 1-1-4 旋转泵式鱼雷发射装置

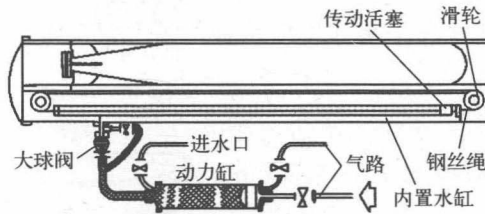


图 1-1-5 应急抛射机构

雷尾部加装助推火箭等<sup>[1]</sup>。

为了提高潜艇的隐蔽性,需进一步降低鱼雷发射时的噪声,这也迫使鱼雷发射要寻求其他发射方式和发射能源。如德国潜艇已装备的液压蓄能式发射装置<sup>[5,6]</sup>(图 1-1-6),美国等对橡胶储能弹性<sup>[7,8]</sup>(图 1-1-7)以及电磁式发射装置<sup>[9-11]</sup>(图 1-1-8)均进行了试验和探索。液压蓄能式发射装置在发射前通过油压系统预先将发射能量储备在蓄能器中,发射时释放蓄能器液压能量将其转

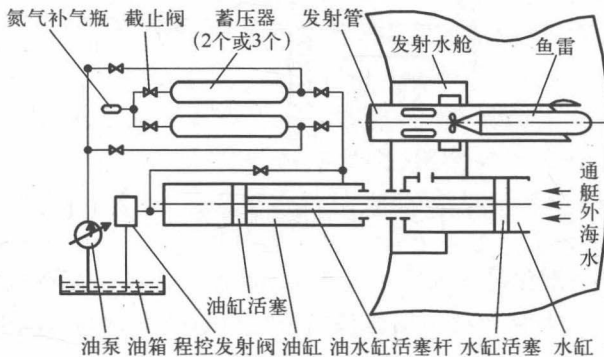


图 1-1-6 德国液压蓄能式发射装置结构原理图

换为油缸活塞的机械拉力和位移,带动水缸活塞将海水压入发射管,从而完成鱼雷等武器发射。橡胶储能式弹性发射装置在发射前利用高压水泵将海水泵入发射水舱中使水舱的橡胶圆盘膨胀蓄能;发射时发射控制阀打开,发射水舱内的海水在橡胶圆盘的弹性能作用下按一定的规律进入发射管,推动鱼雷出管。而直线电机式鱼雷发射装置则是将往复泵式发射装置的气缸用直线电机替换,其发射时由电机拉动水缸活塞从而把海水压入发射管,推动鱼雷出管。

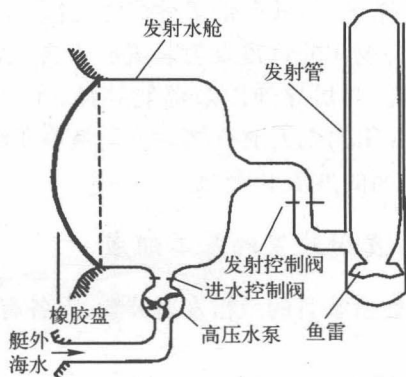


图 1-1-7 橡胶储能式弹性发射装置原理图

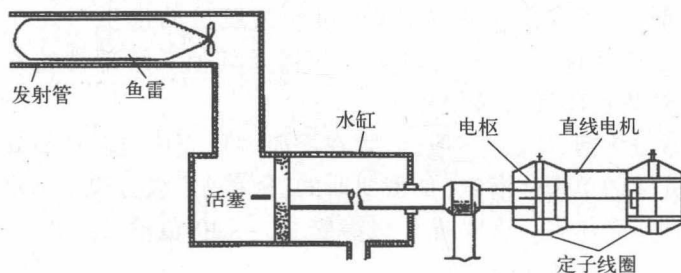


图 1-1-8 直线电机式鱼雷发射装置结构示意图

另外,由于鱼雷采用了自导或线导装置,命中率提高,对鱼雷齐射的要求相对下降,但对连续装填的要求则相应提高。同时,由于提高了反潜鱼雷的命中率,潜艇反潜的斗争变得更加尖锐,对鱼雷发射的快速性和连续装填的快速性提出了更高的要求,因此,现代各国海军均采用计算机实现发射和连续装填的自动化、快速性,如用计算机加液压装置使装填鱼雷实现自动化;用计算机加传感器使发射过程的各种信息得以反映和处理,使发射过程的自动化、快速性进一步提高,大大减轻了艇员的体力劳动。

在导弹装备潜艇后,鱼雷发射装置可担负发射导弹的任务。如法国 SAN72 级导弹核潜艇和“阿戈斯塔”级常规潜艇的冲压式鱼雷发射装置均能发射 SM39

型“飞鱼”导弹,其发射方法是將导弹弹翼折起裝在一个鱼雷形的运载器中,运载器尾部裝有固体火箭原动机和燃气舱,故容器被发射出管后,可独立航行一段距离再冲出水面,出水后其内部的导弹助推器点火燃气推导弹冲出运载器。美国、英国等国家的潜艇鱼雷发射装置以类似的方法发射“捕鲸叉”导弹。美国的一些潜艇鱼雷发射装置还可发射“战斧”巡航导弹。俄罗斯的一些潜艇用鱼雷发射装置发射 SS-N-15 反潜导弹。

潜艇作战使命的多样化,要求携带多种武器,这就要求武器发射装置具备多功能,一物多用,因此,现在的鱼雷发射装置已不再仅仅发射鱼雷,应该可以布放多种水雷,发射对舰、对潜导弹以及巡航导弹,还要求发射能在水下自行航行的诱饵、侦察及作战用的无人飞行器。发射装置的多功能,必然导致其在结构、性能、控制诸多方面的发展和变化。

### 1.1.2 潜艇鱼雷发射装置的基本组成

无论大、中、小型潜艇所装备的鱼雷发射装置,除各有其特点外,其组成是基本相同的。

#### 1. 发射管管体

潜艇鱼雷发射管的管体,除储存鱼雷、引导鱼雷出管外,还作为潜艇耐压结构的一部分,当潜艇出现事故时,可作为艇员的逃生口之一。另外,管体又是发射系统部件、管上机械和设定仪器及其他系统部件的安装基座,上面有相应的安装孔座和安装垫板。

管体通常分为前、中、后三段,后管在潜艇耐压壳内,前、中管在耐压壳外。个别无耐压壳体的单壳体潜艇(如俄罗斯的“阿穆尔”级常规动力潜艇)发射管的管体均在耐压壳体内。俄罗斯 K 级潜艇 IC-240 鱼雷发射装置<sup>[4]</sup>发射管在艇上的布置如图 1-1-9 所示。

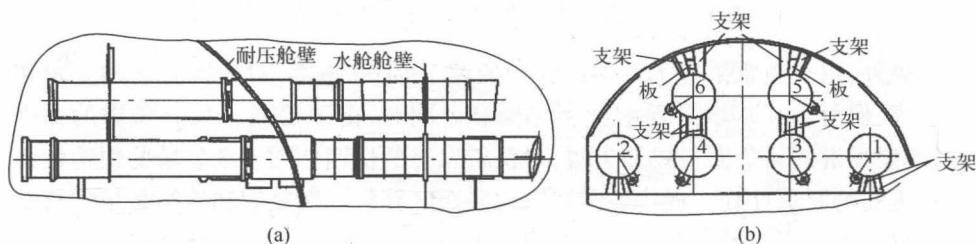


图 1-1-9 K 级潜艇 IC-240 鱼雷发射管在艇上的布置

#### 2. 前、后盖及其开闭传动装置

潜艇鱼雷发射管管体通常处于水下,平时必须以前、后盖将其封闭,以保证



舷外海水不进入耐压舱内,并使管内的鱼雷处于干保存状态,便于进行维护保养。发射鱼雷时必须打开前盖,发射完毕需要进行武器再装填,又必须打开后盖。前、后盖的开闭有手动和液压传动两种方式。由于前盖处于耐压舱外,同时前盖又与潜艇外壳的减阻板相连,所以必须有一套传动装置开闭前盖和减阻板。前、后盖及其开闭传动装置是除栅状管之外的任何形式的发射管必须具备的机构。某型潜艇鱼雷发射装置前、后盖及其开闭传动装置如图 1-1-10 所示。

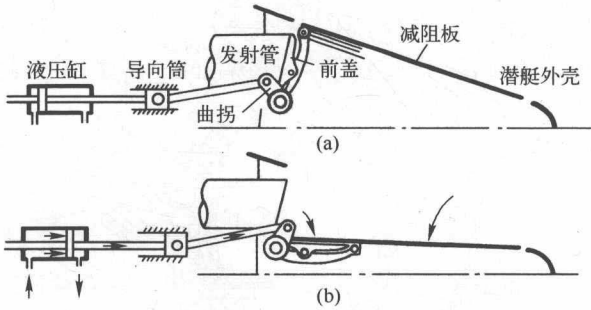


图 1-1-10 前盖、减阻板及其开闭传动装置

### 3. 鱼雷发射管的管上机械和设定仪器

鱼雷发射管的管上机械有各种鱼雷制止器如上制止器等,用于限制鱼雷在管内不能前后移动。对于发射机械设定方式鱼雷的发射装置,管上还有扳机栓和设定仪器(如机械设定仪、深度设定仪和电雷开关)。其中,扳机栓用于鱼雷出管前打开鱼雷扳机(仅用于通过扳机启动的鱼雷);设定仪器用于设定鱼雷航行参数、设定速制及自导工作方式等,可通过手动和电动两种方式来设定鱼雷参数。俄罗斯 IC-240 鱼雷发射装置总体结构如图 1-1-11 所示。

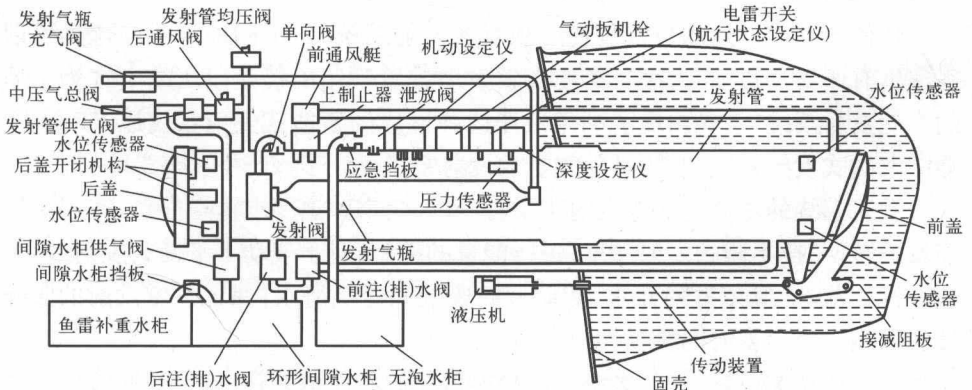


图 1-1-11 IC-240 鱼雷发射装置总体结构

对于具有电动的、以模拟量或数字量进行航行参数及自导工作方式设定的鱼雷,发射装置与鱼雷之间通过电连接器和电缆传送设定信息(图 1-1-12 中后盖上的孔 d 用于安装设定电缆)。对于线导鱼雷,也是通过电连接器和线导导线传递信息,以便发射舰艇对线导鱼雷的控制。

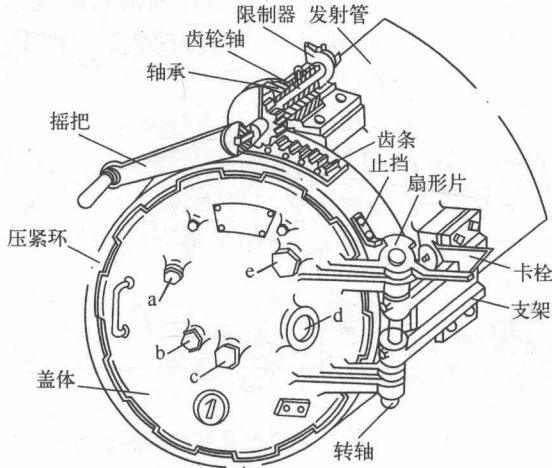


图 1-1-12 某型潜艇鱼雷发射管后盖

#### 4. 互锁装置

由于潜艇鱼雷发射装置处于水下,必须保证发射管前、后盖不得同时打开,因而必须具有前、后盖的互锁机构。另外,为了保证鱼雷发射安全,在各种发射准备未完成或艇员误操作时不能发射鱼雷,发射装置也应有相应的互锁装置。通常以机械、油路、气路或电路的限制来实现要求的各种互锁功能。

#### 5. 发射系统

任何有动力发射的鱼雷装置必须具备发射系统,而不同的发射原理其发射系统也有差异。目前,大多数潜艇鱼雷发射装置采用的仍是以压缩空气为工质的气动发射系统,已经出现了利用液压或弹性体的蓄能式发射系统以及利用电能的电磁式发射系统,利用其他能量的发射系统还处于探讨中。

发射系统的功能是储存发射工质;按发射鱼雷弹道要求输送能量,实现工质能量的转换;按不同的发射深度,进行能量的控制;对于气动不平衡式发射装置,还要按无泡、无倾差发射要求,控制回收废气和定量海水,保证鱼雷发射的隐蔽性和潜艇发射鱼雷时的操纵性。

由上述功能决定,发射系统一般由能量充放和能量储存、能量控制及能量转换部件等组成。以高压空气为发射工质的往复泵式发射装置(图 1-1-2)的发